

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA.
FACULTAD DE AGRONOMIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA.



**“ESTIMACIÓN DE LA TASA DE EROSION HÍDRICA EN LA
MICROCUEENCA DE LA QUEBRADA CHAYE GRANDE DE LA
SUBCUEENCA DEL RIO YAPATERA”.**

(Usando Sistemas de información Geográfica-ArcGIS10.1)

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÍCOLA.

PRESENTADA POR :

Br. YOEL ESLEITER CÓRDOVA ELERA.

PIURA – PERÚ

2015

7676
COR



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA.



FACULTAD DE AGRONOMIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRÍCOLA.

**“ESTIMACIÓN DE LA TASA DE EROSIÓN HIDRICA EN LA MICROCUENCA DE
LA QUEBRADA CHAYE GRANDE DE LA SUBCUENCA DEL RIO YAPATERA”.**

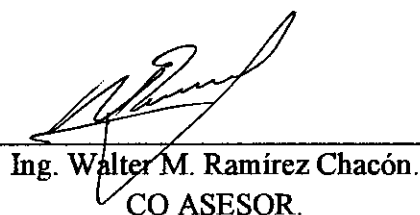
(Usando Sistemas de información Geográfica-ArcGIS10.1)

TESIS

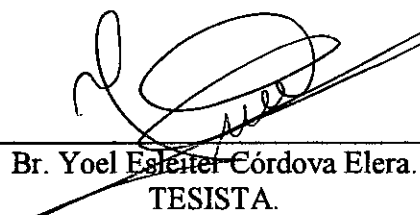
PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÍCOLA.



Dr. Mario Montero Torres.
ASESOR.



Ing. Walter M. Ramírez Chacón.
CO ASESOR.



Br. Yoel Esler Córdova Elera.
TESISTA.

**PIURA – PERU
2015**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA.



FACULTAD DE AGRONOMIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA.

“ESTIMACION DE LA TASA DE EROSION HIDRICA EN LA MICROCUENCA DE
LA QUEBRADA CHAYE GRANDE DE LA SUBCUENCA DEL RIO YAPATERA”.

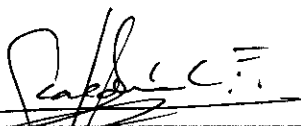
(Usando Sistemas de información Geografica-ArcGIS10.1)

TESIS

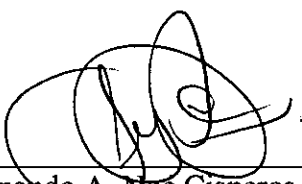
PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO AGRÍCOLA.

Br. YOEL ESLEITER CORDOVA ELERA.

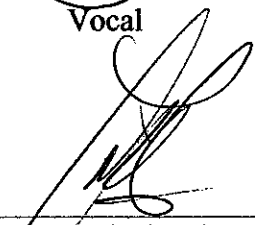
APROBADA POR:



Dr. Washington Z. Calderón Castillo.
Presidente



Dr. Fernando A. Noe Cisneros.
Vocal

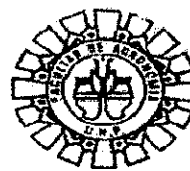


Ing. Miguel A. GalecioJulca M. Sc.
Secretario.

PIURA – PERU
2015



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
COMISION DE INVESTIGACION AGRICOLA

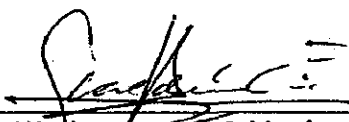


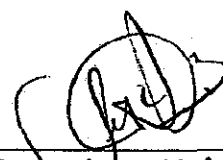
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
022-2015-CIAFA-UNP


Los miembros del jurado calificador que suscriben, congregados para estudiar el Trabajo de Tesis denominado "ESTIMACION DE TASA DE EROSION HIDRICA EN LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA CHAYE GRANDE DE LA SUBCUENCA DEL RIO YAPATERA", conducido por el BR. CORDOVA ELERA YOEL ESLEITER, asesorado por el Dr. Montero Torres Mario y Co - asesorado por el Ing. Ramírez Chacón Walter.

Luego de oídas las observaciones y respuestas a las preguntas formuladas, lo declaran APROBADO....., en consecuencia queda en condiciones de ser calificado APTO para gestionar ante el Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Piura, el Título Profesional de Ingeniero Agrícola de conformidad con lo estipulado en el artículo N° 171, inciso 2° del Estatuto General de la Universidad Nacional de Piura.

Piura, 04 de Septiembre del 2015.


Dr. Washington Z. Calderón Castillo
Presidente


Dr. Fernando A. Noé Cisneros
Vocal


Ing. Miguel A. Galecio Julca M.Sc.
Secretario

INDICE

CAPITULO I:

INTRODUCCIÓN

1.1. JUSTIFICACION	7
1.2. OBJETIVOS	8
1.3. HIPOTESIS	8

CAPITULO II:

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

2.1. El suelo	9
2.2. Erosión	9
2.2.1 Erosión hídrica	9
2.2.1.1 Factores de la erosión hídrica	11
2.2.1.1.1. Precipitación	12
2.2.1.1.2. Grado y longitud de la pendiente	12
2.2.1.1.3. Erodabilidad del suelo	13
2.2.1.1.4. Cobertura vegetal	13
2.2.2. Tipos de erosión	14
2.2.2.1. Erosión laminar	14
2.2.2.2. Erosión entre surcos	15
2.2.3.3. Erosión en cárcavas	16
2.2.3. Consecuencias de la erosión hídrica	17
2.3. Aplicación del método de predicción de pérdida de suelo (USLE)	17
2.3.1. Ecuación Universal de Pérdida de Suelo. (USLE)	18
2.3.1.1. Método de la FAO para el cálculo de la erosión hídrica.	19
2.3.2. Factores que intervienen en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo	20
2.3.2.1. Factor de agresividad de la lluvia	20
2.3.2.2. Factor de erodabilidad del suelo	21
2.3.2.3. Factor L y S	21
2.3.2.4. Factor de cobertura vegetal	22
2.3.2.5. Factor de prácticas de conservación del suelo	22

CAPITULO III:

MATERIALES Y METODOS

3.1. Descripción de la zona del trabajo	24
3.1.1. Análisis del contexto del territorio	24
3.1.1.1. Ubicación, Hidrología, Clima, suelos, suelos, ecología	25
3.2. Materiales y equipos	32
3.3. Metodología	33
3.4. Calculo de erosión potencial	51
3.5. Calculo de erosión actual	52

CAPITULO IV:

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Diseño del modelo	53
4.1.1. Obtención de variables	53
4.1.1.1. Índice de agresividad de la lluvia	53
4.1.1.2. Factor de erodabilidad del suelo	60
4.1.1.3. Factor de cobertura vegetal	70
4.1.1.4. Factor de longitud y gradiente de la pendiente	76
4.1.1.5. Factor de conservación y protección	80
4.2. Erosión potencial	81
4.3. Erosión Actual	83

CAPITULO V:

5.1. CONCLUSIONES	90
5.2. RECOMENDACIONES	91

CAPITULO VI:

6.1. Bibliografía 94

6.2. Anexos 98

INDICE DE CUADROS.

Cuadro N°1: Aptitud de los suelos.	29
Cuadro N°2: Clasificación de la cobertura vegetal.	30
Cuadro N°3: Tasa de erosión hídrica.	36
Cuadro N°4: Código USLE de estructura del suelo.	41
Cuadro N°5: código USLE de Permeabilidad del suelo.	41
Cuadro N°6: Parámetros para calcular velocidad de infiltración.	44
Cuadro N°7: Tabla de valores de cobertura vegetal (C).	48
Cuadro N°8: Valores para prácticas conservacionistas, factor P.	51
Cuadro N°9: Estación pluviométrica Altos de Poclús.	55
Cuadro n°10: Estación pluviométrica Sapolilica.	56
Cuadro N°11: Estación pluviométrica San Pedro-Chulucanas.	57
Cuadro N°12: Precipitación Promedio anual y Factor R.	58
Cuadro n°13: Estación Altos de Poclús –Frías.	58
Cuadro N°14: Prueba de infiltración-Método del cilindro infiltrómetro.	61
Cuadro N°15: Calculo de la velocidad de infiltración.	62
Cuadro N°16: Comparación entre métodos para cálculo de permeabilidad.	64
Cuadro N°17: código de estructura y permeabilidad de cada muestra.	65
Cuadro N°18: Factor de erodabilidad del suelo.	66
Cuadro N°19: Distribución de la cobertura vegetal en la microcuenca.	70
Cuadro N°20: Tipos de cobertura caserío Chaye Grande.	71

INDICE DE GRAFICOS.

Figura N°1: Etapas de la erosión hídrica.	11
Figura N°2: Erosión laminar.	14
Figura N°3: Erosión en surcos.	15
Figura N°4: Erosión en cárcavas.	16
Figura N°5: Cultivos en curvas a nivel o en contorno.	22
Figura N°6: Cultivos en curvas a nivel o en contorno.	22
Figura N°7: Microcuenca quebrada Chaye Grande.	34
Figura N°8: Nomograma para calcular permeabilidad hidráulica.	42
Figura N°9: Nomograma de erodabilidad del suelo.	46
Figura N°10: Prueba de cilindro infiltrómetro.	64
Figura N°11: Prueba de cilindro infiltrómetro.	64
Figura N°12: Muestreo de suelos.	69
Figura N°13: Estructura del suelo de la zona del proyecto.	69
Figura N°14: Estructura del suelo de la zona del proyecto.	70
Figura N°15: Cultivo de frijol en el caserío de Chaye Grande.	71
Figura N°16: Matorral denso caserío Chaye Grande.	73
Figura N°17: Variedad de cultivos del caserío Chaye Grande.	73
Figura N°18: Variedad de pastos en el caserío Chaye Grande.	74
Figura N°19: Variedad de cobertura vegetal del caserío Chaye Grande.	74
Figura N°20: Pendientes del caserío Chaye Grande parte baja.	76
Figura N°21: Pendientes del caserío Chaye Grande parte alta.	76
Figura N°22: Caserío Chaye Grande-Frías.	80

INDICE DE MAPAS.

Mapa N°1: Microcuenca de la quebrada Chaye Grande – Frías.	25
Mapa N°2: Centros poblados – Frías.	27
Mapa N°3: Mapa de isoyetas – precipitaciones promedio anuales.	59
Mapa N°4: Mapa de erodabilidad del suelo.	68
Mapa N°5: Mapa de cobertura vegetal.	75
Mapa N°6: Mapa de elevaciones	77
Mapa N°7: Mapa de ángulo de la pendiente.	78
Mapa N°8: Mapa de Factor LS.	79
Mapa N°9: Mapa de erosión potencial.	81
Mapa N°10: Mapa de erosión actual.	83
Mapa N°11: Mapa de erosión actual año 2010.	86
Mapa N°12: Mapa de erosión actual año 2014.	87

RESUMEN.

El cálculo de la pérdida de suelo por erosión hídrica, es considerablemente compleja, debido a la cantidad de variables que se interrelacionan en la estimación a nivel de una microcuenca, el modelo está basado en procesos físicos para pequeños componentes del proceso de erosión.

La zona de estudio es la microcuenca de la quebrada Chaye Grande que pertenece a la subcuenca del río Yapatera, ubicada en el distrito de Frías; a partir de la misma se obtuvo la información necesaria para la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) que se utilizó con parámetros de la zona en estudio.

La hipótesis de partida de esta ecuación se centra en considerar a las precipitaciones como el principal agente activo de esta erosión superficial y así se establece que las pérdidas de suelo anuales son directamente proporcionales al índice de erosividad de las lluvias.

Las mismas condiciones de erosividad de las lluvias pueden producir erosiones diferentes según las características del suelo sobre el que actúan. Así se reconocen una serie de características del propio suelo que determinan su erosionabilidad o vulnerabilidad a la erosión, relacionadas con su textura, estructura, contenido de materia orgánica y permeabilidad.

A su vez un mismo suelo, expuesto a la acción de las mismas lluvias, sufre intensidades de erosión distintas, según se encuentre en la parte alta, media o baja de una ladera, y según sea la pendiente de dicha ladera (relieve).

La erosión resultante, también varía según sea el tipo de vegetación que protege al suelo, las prácticas de cultivos o de aprovechamiento de dicha vegetación que protege al suelo respecto a la pendiente de la ladera, etc. Estos últimos factores, el relieve y la cubierta vegetal son los que matizan la acción erosiva de las lluvias sobre la erosionabilidad de cada suelo, dando por resultado unas tasas de erosión diferentes en cada caso, que pueden evaluarse a través de la estimación del efecto de cada uno de estos factores mencionados.

Finalmente se entregó una metodología que ha sido implementada en un Sistema de Información Geográfica usando bases de datos alfanuméricas y espaciales, con los siguientes indicadores: agresividad de la lluvia, erodabilidad del suelo, mapa de pendientes, cobertura vegetal, con el fin de lograr una espacialización de la microcuenca con respecto a la erosión hídrica en Ton/ha/año.

Con este resultado se conoció la degradación de los suelos en la microcuenca a partir de la erosión hídrica; además servirá como base para calcular el rendimiento de sedimento en una cuenca, que será importante para la toma de decisiones de política y gestión del recurso suelo en el futuro de la región.

ABSTRACT

The calculation of soil loss by water erosion, is considerably complex because to the number of variables that relate to the catchment area estimate. Model is based on physical processes for small components of the process of erosion.

The study area is the watershed of the creek Chaye Grande belongs to the basin of the river Yapatera , from the same information necessary for the implementation of the Universal Soil Loss Equation (USLE) to be used with parameters will be obtained of the study area.

The hypothesis of this equation focuses on seeing rainfall as the main active agent of this surface erosion and thus establishes that the annual soil losses are directly proportional to the rate of rainfall erosivity.

The same conditions erosivity of rainfall can produce different erosions according to the characteristics of the land on which they operate. So a number of characteristics that determine their own soil erodibility or vulnerability to erosion, related to its texture , structure, organic matter content and permeability are recognized.

In turn the same ground, exposed to the action of these rains, suffers various intensities of erosion, as found in the upper , middle or lower part of a slope , and as the slope of the hillside (relief).

The resulting erosion also varies depending on the type of vegetation that protects the soil, cultural practices or use of such vegetation that protects the soil to the slope of the hillside, etc. These latter factors , topography and vegetation cover are those that qualify the erosive action of the rains on the erodibility of each soil , resulting in different rates of erosion in each case , that can be assessed by estimating the effect of each of these above factors.

Aggressiveness of rain, soil erodibility , slope map , land cover , in order to achieve a spatialization : Finally a methodology to be implemented in a GIS database using alphanumeric and spatial data , the following indicators surrender of the watershed with respect to water erosion Ton / ha / year.

With this result the degradation of soils in the watershed are known from water erosion ; will also serve as the basis for calculating the performance of sediment in a basin , it will be important for making policy decisions and management of land resources in the future of the region.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La degradación de los suelos por erosión y sedimentación es el fenómeno más acentuado en el territorio de Piura y de amplias repercusiones económicas, sociales y ecológicas. Los factores naturales y antrópicos son las causas, ligados a la historia geológica, acentuada por la desordenada actividad social, cada día más crítica, debido al conflicto entre el uso que el hombre hace de su entorno ambiental y las potencialidades que este le brinda.

Los efectos de la erosión se materializan tanto en el lugar de origen (cabecera de cuenca, o el valle) como fuera de él (diques, ríos, lagos). En el lugar de origen el fenómeno se traduce en el adelgazamiento de la capa arable y la consiguiente disminución de la productividad del suelo y fuera del lugar de origen provoca la sedimentación de partículas, causando daños y perjuicios no sólo a la productividad sino también a la infraestructura pública y privada, afectando a poblaciones urbanas, colmatando diques, canales, aumentando los costos de potabilización del agua. Si bien los daños son importantes, en la mayoría de los casos existe poca información acerca de los mismos.

La presente tesis pretende presentar el fenómeno de degradación de los suelos en la microcuenca por erosión hídrica; a partir del desarrollo de modelos a escala mayores y en un futuro obtener la erosión hídrica en tiempo real, constituyéndose de esta manera en una herramienta base para calcular el rendimiento de sedimento en una cuenca, información útil para la evaluación de la evolución de la erosión, tan importante para la toma de decisiones políticas y de gestión del recurso suelo en el futuro de nuestra región.

La pérdida de suelos fértiles es un problema de preocupación mundial y para su cuantificación se aplican diversas metodologías en todo el mundo. La búsqueda de soluciones a un gran número de problemas de cultivos, suelos y manejo de cuencas requiere de hacer estimaciones de la erosión en campos de cultivo o cuencas. Para ello, se

han desarrollado numerosos modelos para predecir la erosión. Algunos de estos modelos son simples ecuaciones que calculan el promedio anual de erosión en la desembocadura de una cuenca.

La elección de la USLE (Ecuación Universal de pérdida de Suelo) para esta Tesis se debe a su relativa aplicabilidad universal, producto de la posibilidad de obtener los parámetros físicos requeridos por la fórmula para cualquier área en estudio; y de la gran cantidad de antecedentes y de trabajos realizados en todo el mundo con fines científicos y de planificación.

La USLE considera en su análisis que el proceso erosivo de un área es el resultado de la interacción de factores naturales (lluvia, suelo y topografía) y del impacto de factores influenciados por el hombre directamente (uso y manejo de la tierra).

1.1. JUSTIFICACIÓN:

La productividad agrícola en la microcuenca de la quebrada Chaye Grande ha disminuido en un 3.3 % en la producción de cultivos permanentes y temporales , debido a diversos factores, uno de los cuales son los efectos directos de la erosión del suelo, que son el adelgazamiento de la capa arable, pérdida de materia orgánica, afloramiento de subhorizontes con menor fertilidad y pérdida de nutrientes; lo que en conjunto conduce a la pérdida de fertilidad del suelo y a la pérdida total del recurso.

Que teniendo en nuestra región Piura la presa los Ejidos y la represa de Poechos con un alto porcentaje de su volumen cubierto de sedimento es preocupante para la población que depende directamente de esta fuente de agua.

Según el Plan de Gestión de la Oferta de Agua en las Cuencas del Proyectos Chira-Piura; Los sedimentos transportados por el río Piura en años normales, alcanza un promedio anual de 0,95 MMC, lo que ha generado la disminución de la capacidad de almacenamiento de la presa de Los Ejidos por un acelerado proceso de sedimentación.

Según Gobierno Regional de Piura (2013). Tras la última medición de sedimentación en el reservorio de Poechos en Piura, se determinó que tiene un volumen de sedimentación de 478 MMC, que representa el 53.6 %, por lo que ha reducido su capacidad a 392 MMC.

Por lo que se ha tratado de desarrollar este proyecto de investigación que permita estimar la cantidad de sedimento que aporta una microcuenca para así tomar las medidas de prevención a fin de mitigar o reducir la problemática que puede generar en la sociedad y el medio ambiente.

1.2. OBJETIVOS.

1.2.1. OBJETIVO GENERAL:

- Determinar la tasa de erosión hídrica correspondiente a la microcuenca de la quebrada Chaye Grande de la subcuenca del río Yapatera utilizando sistemas de información geográfica-ArcGIS.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Determinación de la tasa de erosión actual en Ton/Ha/año de la microcuenca, mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) como también la determinación del índice de erosividad de la lluvia e índice de erodabilidad del suelo a esta escala de trabajo.
- Proponer medidas de conservación y recuperación para los sectores más sensibles a la erosión hídrica.
- Elaborar un mapa de erosión hídrica de la zona en estudio a partir de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

1.3. HIPOTESIS

La eliminación de la cubierta vegetal en suelos agrícolas y forestales, asociados al régimen pluvial, inducen al proceso de erosión hídrica a niveles drásticos.

CAPITULO 2

2.0. FUNDAMENTO TEORICO.

2.1. El suelo :

Becerra, 2005. (1) El suelo es la capa delgada de material intemperizado que cubre la superficie terrestre, de un espesor insignificante comparado con el de otras capas del planeta, sin embargo es de vital importancia para el desarrollo de la vida que se conoce por lo que resulta trascendental para el hombre conocer este recurso y promover su conservación por todos los medios a su alcance.

2.2. Erosión:

La erosión del suelo es un tema de gran importancia por lo cual se han originado diferentes acepciones del concepto, por mencionar algunas se refieren las siguientes:

Kirkby, 1994. (17). La erosión del suelo es la remoción del material superficial por acción del viento o del agua.

Suárez D.J, 2001 (15). La erosión comprende el desprendimiento, transporte y posterior depósito de materiales de suelo o roca por acción de la fuerza de un fluido en movimiento.

Becerra, 2005. (1). La erosión es el proceso físico que consiste en el desprendimiento y arrastre de los materiales del suelo por los agentes del intemperismo.

Fournier, 1972. (5). La erosión del suelo puede definirse como un fenómeno geológico complejo producido por el desprendimiento y transporte de partículas y material del suelo que se terminan depositando en otro lugar.

2.2.1. Erosión Hídrica:

Hudson, 1977(12). La erosión hídrica es un proceso físico que consiste en el desprendimiento, transporte y depositación de las partículas del suelo por efectos de la acción del agua.

Ellison, 1947. (4). Las precipitaciones ocasionan la dispersión y transporte del suelo a causa del impacto de las gotas de lluvia conjuntamente con el escurrimiento superficial del agua ocasionando erosión hídrica, en gran medida esto depende principalmente de la interrelación de los agentes erosivos dinámicos, en el caso de la erosión hídrica son: cantidad e intensidad de las precipitaciones, las propiedades intrínsecas de los suelos, inclinación y área del terreno, vegetación y la aplicación o no de medidas preventivas para la conservación del suelo que van a incidir en el escurrimiento superficial del agua.

Suárez D.J, 2001 (15). La erosión por golpeo de la lluvia ocurre por el impacto de las gotas de agua sobre una superficie desprotegida, el cual produce el desprendimiento y remoción de capas delgadas de suelo. Este impacto rompe la estructura del suelo y lo separa en partículas relativamente pequeñas. Estas partículas son luego transportadas por la escorrentía. Al caer una gota de lluvia levanta partículas de suelo y las reparte en un área de aproximadamente un metro cuadrado. Parte de la lluvia se infiltra y parte fluye sobre la superficie.

Ellison, 1947. (4). Como consecuencia de la desagregación se produce un sello superficial que disminuye sustancialmente la capacidad de infiltración del suelo.

Becerra, 2005. (1). Como agente activo, el agua erosiona al suelo de dos maneras: la primera por el impacto de la lluvia y la segunda por la fricción del escurrimiento superficial sobre el terreno, este proceso se desencadena básicamente cuando el hombre provoca con sus actividades el deterioro de la cobertura vegetal. Ambos mecanismos, impacto de la lluvia y fricción de la escorrentía, actúan simultáneamente durante una tormenta y que uno u otro predomine dependerá de las circunstancias particulares de cada caso.

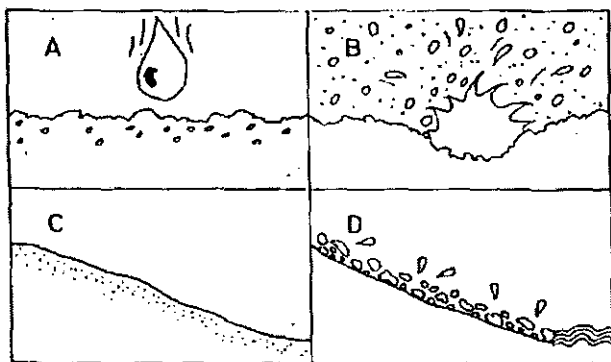


Figura 1. Etapas de la erosión hídrica. Fuente: Derpsch, et al. 1991.

Derpsch, et al. 1996. (3). El impacto de la gota de lluvia sobre el suelo desnudo (A), genera que sus agregados sean desintegrados en partículas minúsculas (B), que tapan los poros formando una selladura superficial (C), provocando el escurrimiento superficial del agua de lluvia. El agua que escurre carga partículas de suelo que son depositadas en lugares más bajos cuando la velocidad de escurrimiento es reducida (D).

Becerra, 2005. (1). Cuando la capacidad de infiltración y de almacenamiento superficial está satisfecha comienza el escurrimiento, arrastrando las partículas sueltas y las que su fuerza misma desagrega. El material erosionado por salpicadura se mueve hacia los surcos y cárcavas y así es transportado por el escurrimiento conjuntamente con el material que el escurrimiento desagrega. La capacidad de transporte está directamente supeditada a la velocidad y turbulencia del flujo.

2.2.1.1. Factores de erosión hídrica

Flores, 1993. (7). Los factores de erosión son los elementos condicionantes que inciden directamente en la pérdida o permanencia de los suelos, como pueden ser, Pendiente, erodabilidad de los suelos y la protección por la vegetación.

Morgan, 1997. (21). Menciona que los factores que determinan la tasa de erosión son la lluvia, la escorrentía, el viento, el suelo, la pendiente, la cobertura vegetal y la presencia o ausencia de medidas de conservación.

2.2.1.1.1. Precipitaciones:

Suárez D.J, 2001 (15). En el proceso de erosión hídrica el arranque de material suele producirse por el impacto y salpicadura de las gotas de lluvia, además el transporte de partículas viene dado por los flujos laminares que se crean en superficie.

Las características más relevantes de las precipitaciones son: intensidad, duración y frecuencia. Cuanto mayor sea la intensidad y la duración de una tormenta, mayor será el impacto de las gotas de lluvia y el volumen de escorrentía y consecuentemente mayores serán las pérdidas de suelo. La distribución de las precipitaciones durante el año no es uniforme y su erosividad es muy variable.

2.2.1.1.2. Grado y Longitud de la Pendiente.

Ellison, 1944. (4). El ángulo de la pendiente es un factor importante que determina la erosión por fragmentación, a medida que el ángulo de la pendiente aumenta, una mayor cantidad de suelo se esparce cuesta abajo.

Wischmeier y Smith, 1978. (34). La distancia del punto de origen del escurrimiento superficial del punto donde cambia el grado de pendiente se llama longitud de la pendiente

Flores , 1993.(7). Las pérdidas de suelo por unidad de área se incrementan al aumentar la longitud de la pendiente, conforme la longitud aumenta, escurrirá mayor cantidad de agua, que llevará mayor energía cinética y por consiguiente transportará mayor cantidad de sedimentos.

2.2.1.1.3. Erodabilidad del suelo

Hudson, 2006. (12). En la erosión por impacto es importante la condición de estabilidad de los agregados del suelo. En la erosión por escurrimiento influyen la capacidad de infiltración y la textura o granulometría del suelo ya las partículas grandes son arrastradas con mayor dificultad.

Suárez D.J, 2001 (15). Ha definido la erodabilidad del suelo como la susceptibilidad o facilidad del suelo a la erosión, menciona además que las características físicas y químicas de un suelo determinan su grado de erosionabilidad.

Flores, 1993. (7). Menciona que las propiedades del suelo que tienen efecto en la erosión causada por el agua son, la capacidad de absorción y retención de agua, condición de superficie e infiltración, facilidad de dispersión, tamaño de las partículas y grado de agregación.

2.2.1.1.4. Cobertura vegetal

Morgan, 1997. (21). La vegetación actúa como una capa protectora o amortiguadora entre la atmosfera y el suelo, los componentes aéreos como hojas y tallos absorben parte de la energía de las gotas de lluvia, del agua en movimiento y del viento, de modo que su efecto es menor que si actuaran directamente sobre el suelo, mientras que los componentes subterráneos, como los sistemas radicales, contribuyen a la resistencia mecánica del suelo.

2.2.2. Tipos de erosión.

2.2.2.1. Erosión laminar :

Gandía & Meliá, 1993. (8). Es la remoción de la lámina o capa delgada y uniforme, desde la superficie del terreno que ha sido desprendida por el impacto de las gotas de lluvia y cobra importancia en suelos desnudos con pendientes largas y suaves. Afecta grandes áreas de manera poco perceptible, aunque la cantidad de tierra removida es importante; dando como resultado suelos de colores claros en las partes elevadas del terreno, debido a que desaparece la capa superior u orgánica. Por lo tanto, quedan expuestas las fracciones limosas y arcillosas más livianas que son arrastradas y en superficie se observan partículas arenosas y/o gravilla.

Morgan, 1997. (21). La fuerza erosiva de las gotas de lluvia es la que actúa en la zona entre surcos. Parte del suelo que se desprende, se mueve radialmente debido al impacto de las gotas, mientras que la película de agua que cubre el suelo va creciendo verticalmente y rompe en pequeñas gotas que pueden transportar el suelo.

Suárez D.J, 2001 (15). La erosión laminar consiste en el desprendimiento y transporte en capas bien definidas superficiales de suelo por acción de la escorrentía difusa

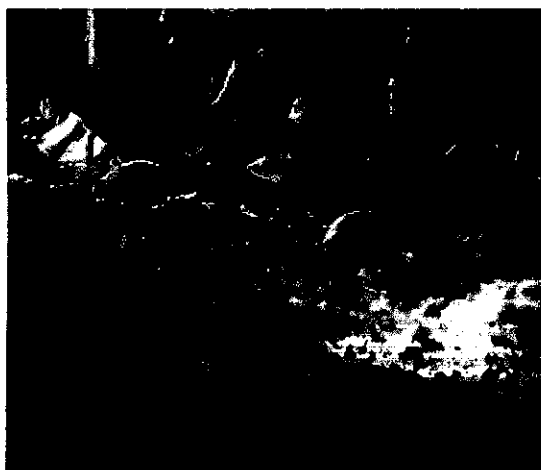


Figura 2. Erosión Laminar. Chaye Grande-Frías.

2.2.2.2. Erosión en Surcos.

Suárez D.J, 2001 (15). La erosión en surcos ocurre cuando el flujo superficial empieza a concentrarse sobre la superficie del terreno, debido a la irregularidad natural de la superficie. Al concentrarse el flujo en *pequeñas corrientes sobre una pendiente*, se genera una concentración del flujo el cual por la fuerza tractiva de la corriente produce erosión, formándose pequeños surcos o canales, los cuales inicialmente son prácticamente imperceptibles pero poco a poco se van volviendo más profundos.

Flores, 1993. (7). Es un proceso donde pequeños canales de varios centímetros de profundidad son formados. El suelo es desprendido por la acción abrasiva del flujo de agua y por desprendimiento del suelo, causado por socavamiento de las paredes laterales de los canales. Las partículas desprendidas son transportadas por una combinación de suspensión, saltación y rodamiento. El potencial erosivo del flujo de agua depende de su velocidad, profundidad, turbulencia del flujo así como del tipo y cantidad del material siendo transportado. Erosión en surco incrementa rápidamente con la longitud y el grado de pendiente que causa un incremento en la velocidad y volumen del flujo de esorrentía superficial.



Figura 3. Erosión en Surcos. Chaye Grande-Frías.

2.2.2.3. Erosión en Cárcavas.

Morgan, J. 1997. (21). La erosión en cárcavas es un fenómeno que aparece cuando hay una mayor concentración y volumen en el escurrimiento y las irregularidades del terreno permiten la unión de varios surcos, formándose zanjas de gran tamaño conocidas como cárcavas, generalmente ramificadas y que no permiten el uso de maquinarias, ni ningún cultivo. Esta forma de erosión es común en suelos altamente susceptibles a la erosión.

Suárez D.J, 2001 (15). Los surcos pueden profundizarse formando canales profundos o la concentración en un sitio determinado de una corriente de agua importante puede generar canales largos y profundos llamados cárcavas. Una vez se inicie la cárcava es muy difícil de suspender el proceso erosivo.

Hudson, 2006. (12). Las cárcavas, expresión máxima del proceso erosivo por el agua; presentan dos áreas de donde proviene el material erosionable, la cabecera y las paredes laterales.

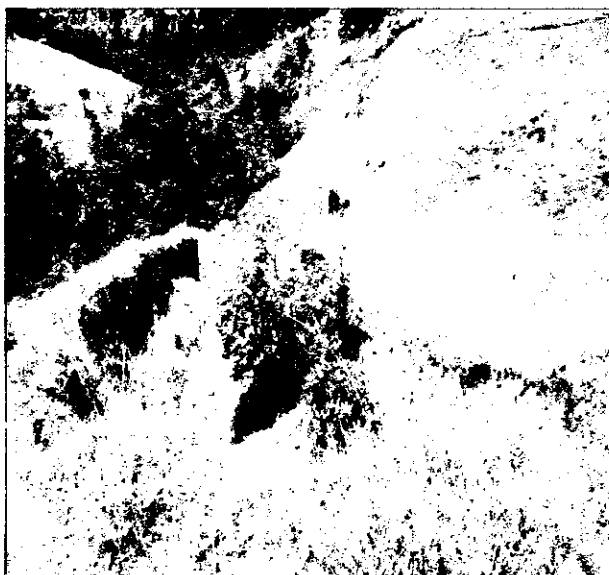


Figura 4. Erosión en Cárcavas. Chaye Grande –Frías.

Gandía & Meliá, 1993.(8). Es un proceso que disecta al suelo profundamente generando zanjones en sitios de concentración de volúmenes considerables de escorrentía. Esta fase del proceso es precedida por las formas anteriores de erosión si no son corregidas. Al hacerse más profunda la socavación, el perfil va adquiriendo mayores pendientes aguas arriba, intensificándose las pérdidas de suelos por erosión retrocedente.

2.2.3. Consecuencias de la erosión hídrica

Gandía & Meliá, 1993.(8). Los efectos directos de la erosión en el suelo son: compactación, modificación de la estructura, pérdida de materia orgánica, afloramiento de subhorizontes con menor fertilidad, pérdida de profundidad, capacidad de retención de humedad y pérdida de nutrientes; lo que en conjunto conduce a la pérdida de fertilidad del suelo y a la pérdida total del recurso.

Flores, 1993. (7). La erosión también genera degradación física del suelo, al exponer nuevos horizontes en la superficie, los cuales en general presentan las siguientes características: alta densidad aparente, presencia de capas endurecidas por óxidos de hierro y aluminio, baja capacidad de retención de agua y poca profundidad.

Hudson, 2006. (12). En otros casos si la erosión es muy intensa puede alterar el funcionamiento de los ríos, la capacidad de retención de zonas inundables e incluso la colmatación y eutrofización de los embalses y masas de agua.

2.3. APLICACIÓN DEL MÉTODO DE PREDICCIÓN DE PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA.

Los métodos de predicción se utilizan para la evaluación de los riesgos potenciales y actuales de erosión, para la planificación de las cuencas hidrográficas; y también pueden ser empleados para determinar relaciones entre las características de las cuencas y los procesos de erosión.

2.3.1. ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO (USLE).

Aunque como hemos visto existen gran cantidad de modelos para calcular la erosión del suelo, la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) es todavía el modelo de estimación de la erosión del suelo con mayor aceptación y de más amplia aplicación.

Laflen J.M. 2003. (19). Se trata de una tecnología empírica generada mediante un proceso evolutivo que ha tenido lugar en los últimos 60 años, y está aún en fase de evolución con el desarrollo de diversas revisiones.

Fue desarrollada durante la primera mitad del siglo 20 por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). Esta ecuación es el resultado del trabajo de numerosos investigadores como Zingg (1940), que relacionó la erosión con la pendiente y la longitud de la ladera, Musgrave (1947), que incluyó un factor climático basado en la precipitación máxima o Smith (1958) que consideró un nuevo factor según el tipo de cultivo.

Años más tarde, los investigadores Walter Wischmaier y Dwight Smith recogieron estos estudios en su modelo presentado en 1978. Este modelo está basado en una serie de relaciones estadísticas entre las pérdidas de suelo y determinadas variables reconocidas como los factores implicados de mayor significación en el proceso de erosión hídrica. Esta ecuación permite predecir la cantidad de suelo que se pierde por erosión hídrica laminar bajo diferentes combinaciones de uso y manejo teniendo en cuenta las características físicas del terreno. La USLE tiene en cuenta seis factores y su modelo matemático es el siguiente:

(Wischmeier, W. H., y Smith, D.D. 1978).

$$A = R.K.L.S.C.P$$

Dónde:

- A: pérdida anual de suelo (t/ha*año).
- R = Agresividad de la lluvia.
- K = Erodabilidad del suelo.
- LS = longitud de la pendiente en metros y gradiente.
- C = Factor cobertura.
- P = Prácticas de conservación del suelo.

2.3.1.1. METODO DE LA FAO PARA CALCULO DE EROSION HÍDRICA: EROSIÓN HÍDRICA POTENCIAL:

Con el término erosión hídrica potencial se hace referencia a la susceptibilidad que tiene una zona o región a erosionarse por influencia del agua y por sus características físicas de clima, suelo y relieve.

$$Ep = R. K. LS$$

Dónde:

- Ep: pérdida anual de suelo (t/ha*año).
- R = Agresividad de la lluvia.
- K = Erodabilidad del suelo.
- LS = longitud de la pendiente en metros y gradiente.

Los factores se consideran como inmodificables. La erosión potencial se estima utilizando la ecuación que considera los factores inmodificables R K LS. Los factores de protección como son la vegetación y las prácticas y obras de manejo para reducir las pérdidas de suelo se pueden modificar.

Para utilizar este modelo, se han propuesto diferentes metodologías para estimar cada una de las variables; sin embargo la aplicación de algunas de ellas en el campo es difícil de realizar por no contar con la información necesaria. Para evitar estos problemas, en este

apartado se presentará una metodología simplificada y adecuada para utilizarse en nuestra área en estudio.

EROSION HIDRICA ACTUAL

$$Ea = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

Dónde:

- **Ea:** pérdida anual de suelo (t/ha*año).
- **R** = Agresividad de la lluvia.
- **K** = Erodabilidad del suelo.
- **LS** = longitud de la pendiente en metros y gradiente.
- **C** = Factor cobertura.
- **P** = Prácticas de conservación del suelo.

2.3.2. FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO (USLE).

2.3.2.1. FACTOR AGRESVIDAD DE LA LLUVIA (R).

Wischmeier, W. H., y Smith, D.D. 1978. (34).Representa la energía con que las gotas de lluvia impactan en el suelo a determinada intensidad rompiendo los agregados superficiales en partículas de tamaño transportable. Se trata de un factor activo en el proceso de erosión. Para su cálculo se han diseñado numerosos índices que se han utilizado en modelos de predicción del riesgo de erosión, siendo el más conocido el factor R.

El factor R en el Sistema Internacional de Unidades es expresado en MJ-mm-ha/h que expresa la energía de la lluvia en superficie y tiempo.

2.3.2.2. FACTOR ERODABILIDAD DEL SUELO (K):

Wischmeier, W. H., y Smith, D.D. 1978. (34) Este factor representa la respuesta del suelo a una determinada fuerza o mecanismo erosivo, es decir, la susceptibilidad que presenta el suelo a ser erosionado.

El factor de erodabilidad del suelo puede ser estimado de manera directa a través de una ecuación, o bien de manera gráfica. Para ambos métodos es necesario, sin embargo, efectuar determinaciones previas de ciertas propiedades.

El factor K en el Sistema Internacional de Unidades es expresado en Ton-ha-h/ha-MJ-mm, que expresa la resistencia del suelo en la superficie y tiempo, respecto a la energía de la lluvia.

2.3.2.3. FACTOR DE LONGITUD Y GRADO DE PENDIENTE (LS).

MCCOOL et al. 1989. (20). El factor de longitud de la pendiente (L) que representa el efecto de la longitud de la pendiente en la erosión (adimensional). Es la razón entre la pérdida de suelo en la longitud de pendiente en campo con respecto a la longitud de una parcela de 22.1 m en el mismo tipo de suelo y gradiente. La longitud de la pendiente es la distancia desde el origen de la escorrentía superficial a lo largo de su vía de flujo a la localidad donde se concentra el flujo o donde se deposita el suelo desprendido.

MCCOOL et al. 1989. (20). El grado de inclinación de la pendiente (S), representa los efectos de la inclinación en la erosión. La pérdida de suelo se incrementa más rápidamente con pendientes muy escarpadas en comparación con el incremento en longitud de la pendiente.

2.3.2.4. FACTOR DE COBERTURA VEGETAL:

Kirkby, 1994. (17). Existen pocos índices para calcular cuantitativamente la relación entre la vegetación y la pérdida de suelo, el más conocido y utilizado es el índice de protección de la cubierta vegetal frente a la erosión hídrica. Para estudios más detallados, el factor cobertura vegetal puede evaluarse con base en ecuaciones matemáticas establecidas para el cálculo de la biomasa. Para el presente trabajo se ha usado los valores de la tabla publicada por Wischmeier (1978) que definen los valores de C para los tipos más comunes de cultivos, así como para las diferentes coberturas.

2.3.2.5. FACTOR DE PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS.

Zabala, Marelli H. y J. Sanabria.2003. (35). El factor de práctica conservacionista, P, refleja el efecto de las prácticas de conservación de suelos que tienden a modificar la topografía, tales como: terrazas, cultivos en franjas y curvas de nivel.

2.3.2.5.1. Curvas a nivel:

Becerra, 2005. (1). Se llama curva de nivel o en contorno a una línea trazada en el terreno, que une puntos de igual altura sobre el nivel del mar. La técnica de cultivos en curvas de nivel, por lo tanto, es aquella en la cual las operaciones de labranza y siembra se realizan siguiendo esa línea.

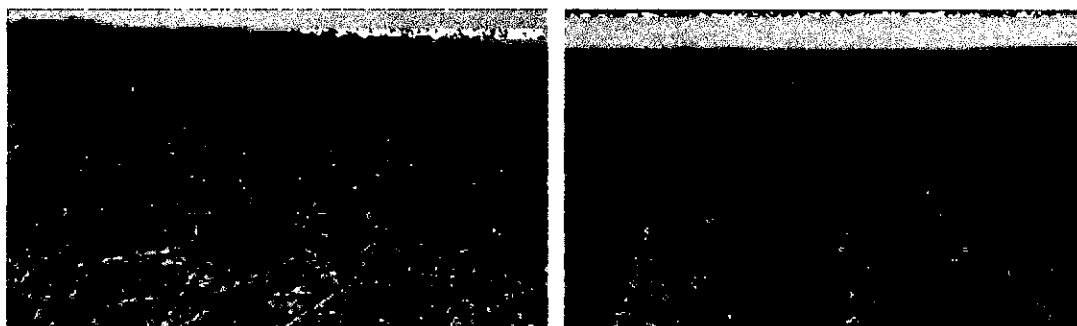


Figura 5-6: Cultivos en curvas de nivel o en contorno. Derpsch, et al. 1991.

2.3.2.5.2. Terrazas:

Becerra, 2005. (1). El sistema de terrazas de banco o bancales consiste en una serie de áreas planas, semejantes a bancos o escaleras, que convierten una pendiente escarpada en planos casi horizontales (terraplén), separados por paredones (talud), generalmente estabilizados con piedra.

CAPITULO 3

MATERIALES Y METODOS

3.1. GENERALIDADES

3.1.1. Análisis del contexto del territorio.

En el distrito Frías se distinguen tres zonas: alta, media y baja; las mismas que presentan variados micro climas, suelos, vegetación, fauna, cultivos y ganado.

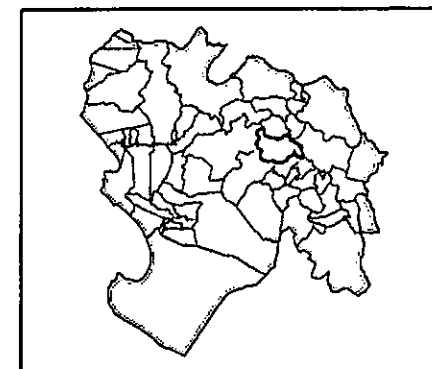
La geomorfología está dominada por la existencia de una topografía relativamente abrupta desde los 700 m.s.n.m., hasta los 2200 m.s.n.m direccionadas en rumbo NE - SO, conformando pequeños valles aluviales o subcuencas.

En el extremo NE de la parte alta se localiza la denominada meseta alto andina a una altura de 3050 a 3150 m.s.n.m., rodeado en el SE por cerros de hasta 3700 m.s.n.m. En la zona media, la configuración es definida por la existencia de quebradas en relieves accidentados, con pendientes por donde el afluente cobra mayor fuerza de erosión hídrica.

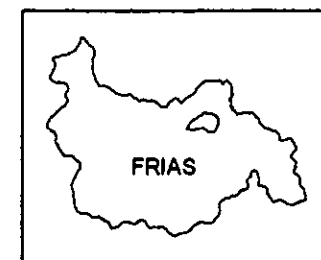
En las zonas bajas de las sub cuencas se presentan perfiles de poca pendiente, por lo general se acumula sedimentos aluviales formando terrazas y conos aluviales.

Las formas dominantes del territorio está conformada por altiplánico, llanura, valles y vertientes predominantemente montañosos el 95% de su superficie se encuentra en esta categoría, además tiene apenas un 3.9% clasificado como planicie, correspondientes principalmente a los causes de los ríos y fondos de valle.

DEPARTAMENTO DE PIURA.

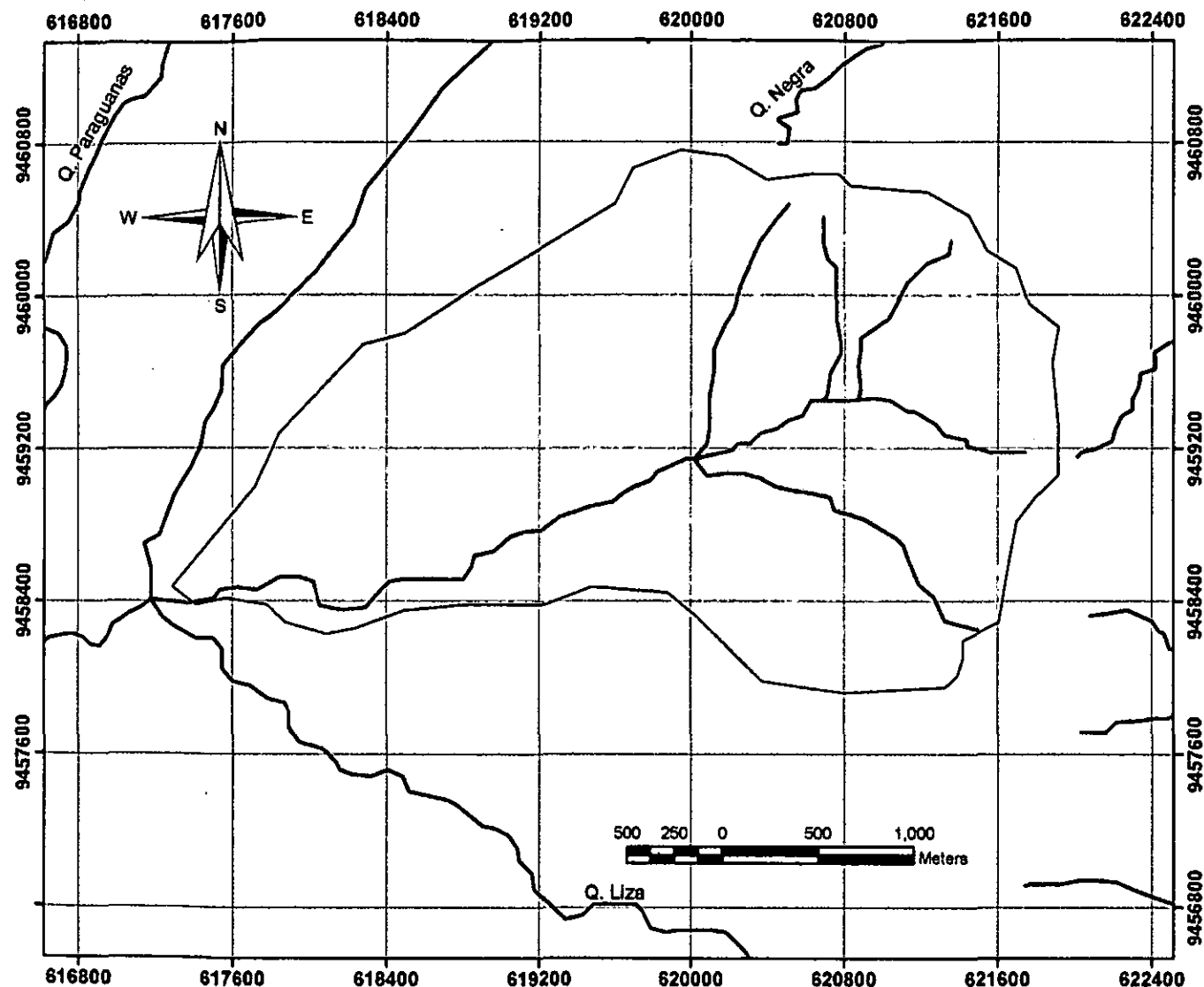




DISTRITO DE FRIAS.



LEYENDA

— Red hidrogrfica



 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA FACULTAD DE AGRONOMIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA</p> 		
<p>PROYECTO "ESTIMACION DE LA TASA DE EROSION HIDRICA DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA CHAYE GRANDE DE LA SUBCUENCA DEL RIO YAPATERA". MICROCUENCA DE LA QUEBRADA CHAYE GRANDE-FRIAS</p>		
DEPARTAMENTO : PIURA PROVINCIA : AYABACA DISTRITO : FRIAS LOCALIDAD : CHAYE GRANDE	RESPONSABLE: YOEL ESLEITER CORDOVA ELERA ESCALA: 1:25000	LAMINA: 01

3.1.1.1. Ubicación Geográfica:

Departamento	:	Piura.
Provincia	:	Ayabaca.
Distrito	:	Frías.
Caserío	:	Chaye Grande.

3.1.1.2. Límites geopolíticos:

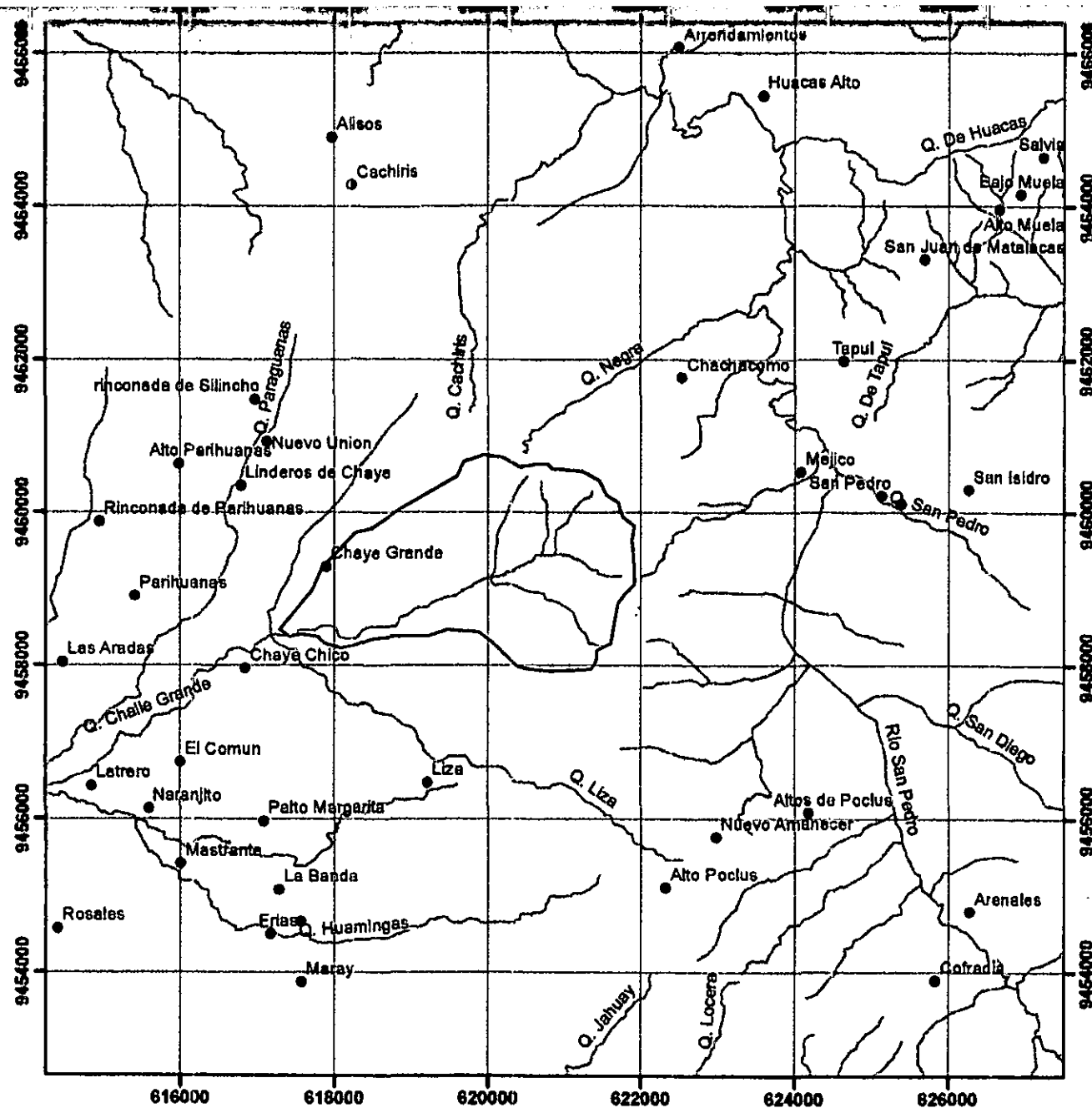
Norte	:	Distritos de Sapollica y Lagunas.
Sur	:	Distritos de Santo Domingo (Morropón) y Chulucanas
Este	:	Provincia de Piura y distrito de Tambogrande (Piura).
Oeste	:	Distrito de Pacaipampa (Ayabaca).

3.1.2. UBICACION DE LA SUB CUENCA YAPATERA.

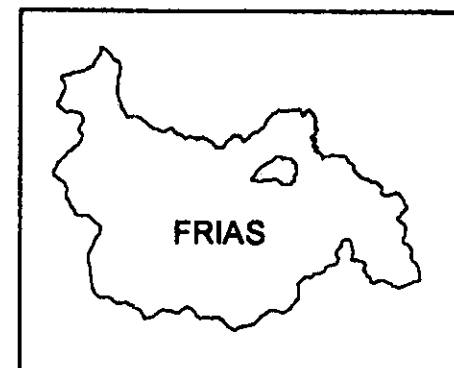
La sub cuenca del río Yapatera es la más importante por encontrarse allí la mayor concentración humana y porque cerca de sus nacientes se asienta el pueblo de Frías, capital del distrito.

Está formada por el río Yapatera, y sus quebradas afluentes a partir del cerro Verbenas, donde se encuentran las mayores pendientes de las vertientes que llegan al 60 %. El río ha formado terrazas aluviales angostas y alargadas, dedicadas a cultivos de pan llevar.

Limita por Norte con el distrito de Sapollica; por el Este con la subcuenca de San Pedro; por el Nor – Oeste con la subcuenca de San Francisco; por el Sur – Este con la subcuenca de San Jorge; por el Oeste con la subcuenca Huanabano y por el Sur con el distrito de Chulucanas.





DISTRITO DE FRIAS.



LEYENDA

- Centros Poblados
- Red Hidrográfica

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA FACULTAD DE AGRONOMIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA		
		
PROYECTO "ESTIMACION DE LA TASA DE EROSION HIDRICA DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA CHAYE GRANDE DE LA SUBCUENCA DEL RIO YAPATERA". CENTROS POBLADOS-CHAYE GRANDE		
DEPARTAMENTO : PIURA PROVINCIA : AYABACA DISTRITO : FRIAS LOCALIDAD : CHAYE GRANDE	RESPONSABLE: YOEL ESLEITER CORDOVA ELEJA ESCALA : 1:25000	LAMINA: <div style="font-size: 2em; font-weight: bold; text-align: center;">02</div>

3.1.2.1.HIDROLOGIA.

El Río Yapatera llamado también Parihuanás o Frías tiene una longitud de total de 36 Km., de los cuales 23 Km., se encuentran bajo la jurisdicción de Frías. El río nace en el lado oeste de los Altos de Frías, desde la garganta del cerro Cachiris (3,361 m.s.n.m). En el caso de la Subcuenca del río Yapatera el 8.70% de sus tierras se ubican en los 3,000 m.s.n.m., y el 56.55 % entre los 1,000 y 2,000 m.s.n.m.

3.1.2.2.CLIMA.

Se distinguen dos estaciones marcadas: el verano con abundantes lluvias de enero a abril; y el invierno seco a partir de junio. La temperatura máxima en verano es de 25.2° C y la media anual es de 15.0°C., registrando un rango de variación bastante considerable.

Las precipitaciones se incrementan a medida que aumenta la altitud. La temporada de precipitaciones es de diciembre a marzo; pero suelen haber lluvias más precoces y abundantes entre enero y marzo. En abril las lluvias son de mayor intensidad y disminuyen en el mes de junio hacia delante. El régimen pluviométrico anual es muy variable. Entre los meses de julio y agosto se presentan vientos fuertes.

Las precipitaciones oscilan entre los 600 y 1200 mm al año.

3.1.2.3.SUELOS

Los suelos presentan una coloración variada, que otorga al paisaje muchas tonalidades. El suelo agrícola, en su mayor proporción, se caracteriza por tener una delgada capa arable de 5-20 cm, correspondiendo a suelos delgados pobres en materia orgánica, rojizos a oscuros dependiendo del origen del suelo.

Por ser una zona húmeda se encuentran suelos con alto contenido de materia orgánica, que debido a la humedad y las bajas temperaturas se descomponen muy lentamente, es aquí donde los suelos presentan un color Los suelos en la parte alta de la cuenca son

predominantemente arcillosos y arcillo arenosos, de colores pardo claro a rojizo amarillento.

En general las tierras del distrito de Frías, tienen las aptitudes que se detallan en el cuadro siguiente:

CUADRO 1: APTITUD DE LOS SUELOS

DESCRIPCION	Superfi
	km2
Protección – Producción Forestal, de calidad agrológica Baja, en Costa	92.74
Protección – Pastoreo Temporal – cultivos permanentes, Calidad Agrologica Baja, limitaciones por suelo y erosión.	327.59
Pastoreo Temporal. Forestal – Protección Calidad Agrologica Baja, limitaciones por suelo y erosión	7.15
Protección – Forestal, Calidad Agrologica Baja – Pastoreo, Calidad Agrologica Media, limitación por suelo y erosión.	125.87
Cultivos en limpio, requieren riego – pastoreo . Protección, Calidad Agrologica Media, limitación por suelo y erosión	3.44
Cultivos en limpio, Calidad Agrológica Alta – Cultivos Permanentes, Calidad Agrologica Media, limitaciones por suelo, requieren riego,	1.78

Fuente: ONR 1982.

3.1.2.4. ECOLOGIA.

De las 6 unidades ecológicas presentes en el distrito de Frías, las que predominan, en orden de importancia, en la subcuenca son:

Bosque Seco Premontano Tropical, Monte Espinosó Premontano Tropical, Bosque Seco Montano Bajo Tropical, Bosque Húmedo Montano Bajo Tropical y Monte Espinoso Tropical.

El territorio en general del Distrito de Frías se encuentra ocupado mayormente por matorrales y bosque seco de montañas.

CUADRO 2: CLASIFICACION DE LA COBERTURA VEGETAL

Descripción	Características	área km ²
Bosque seco de Montañas	Árboles de porte medio, desde dispersos hasta concentrados, de follaje deciduo y perenni- folio. Especies representativas: Ceiba trischistandra, Eriotheca ruizil, Cavallinesia sp., Tabe- buia sd.,	165.72
Matorrales	Comunidades arbustivas de ambientes desde seco hasta húmedos. Especies representati- vas: Cordia luthea, Capparis sp., Jotropha macrantha, Carica candicans, Barnadesia dom-	359.10
Bosque húmedo de Montañas	Bosque lluvioso poco estudiado. En sus límites altitudinales superiores, son indicadores los géneros: Weinmania, Cletra, Myrica, Myrsine, Aralia, Escallonia, Podocarpus, Alnus, Clusia,	2.48
Cultivos Agrícolas	Cultivos anuales y perennes de las tres regiones naturales	1.69
Pajonal	Herbaceas mayormente graminoides hasta 1 mt., de alto, tipo pajonal que conviven con arbustos siempre verdes. Géneros dominantes: Calamagrostis sp., Hiperycum laricifolium. No son	2.73

Fuente: Oficina Nacional de Recursos Naturales, 1982.

3.1.2.5.VULNERABILIDAD.

Según el POT en Frías el grado de vulnerabilidad de tierras que predomina en el distrito de Frías, es el de “moderada vulnerabilidad”, que comprende el 79% del área. Se presentan también tierras con ligera vulnerabilidad (16%), leve vulnerabilidad (4%) y alta vulnerabilidad (1 %).

Es necesario indicar que la vulnerabilidad de los suelos está relacionado con los tipos de cobertura vegetal, la inclinación del terreno (pendiente), las condiciones climáticas y el factor antrópico (la acción del hombre); el uso de tecnologías tradicionales, el mal uso del agua de riego y una débil organización local.

Los principales riesgos a los cuales está expuesto el distrito de Frías son la pérdida de suelo agrícola debido a la erosión (por las fuertes lluvias, mal uso del agua de riego y/o por la acción del viento), deterioro del piso forrajero, malas prácticas agrícolas, destrucción de la cobertura vegetal, deslizamientos y pérdida de cultivos y crianzas.

3.1.2.6.ASPECTOS DEMOGRAFICOS

La población de Frías proyectada para el presente año es de 22,537 habitantes, que representa el 15.66 % de la población provincial.

La densidad demográfica es 39.62 habitantes por kilómetro cuadrado. En los últimos períodos censales, el distrito, a diferencia de otros de la misma provincia, muestra tasas positivas de crecimiento (1.3%).

*La información referente a las generalidades del área de proyecto has sido extraídas del Plan de Ordenamiento Territorial de Distrito de Frías (POT-Frias-2005). (25)

3.2. MATERIALES Y EQUIPOS:

➤ Para datos de estaciones Pluviométricas.

-Registro de precipitaciones. (Estación Meteorológica Altos de Poclús, etc.).

➤ Imágenes Satelitales.

-Carta Nacional del distrito de Frías.

-Imágenes satelitales del área del proyecto.

- Imagen satelital ASTGTM_dem.
- Imagen satelital LANDSAT (L8 OLI/TIRS).

➤ Softwares.

-ArcGis 10.1.

-Microsoft Word y Excel.

➤ Para ubicación de muestras de suelos y estación meteorológica.

-GPS (Sistema de Posicionamiento Global).

➤ Información.

-Diversos trabajos referidos a la metodología de USLE, e información de la subcuenca Yapatera, data de la Zonificación Ecológica Económica de la Región Piura (ZEE), SENAMHI, Proyecto Especial Chira Piura , etc.

➤ Otros:

Laptop, cámara fotográfica, libreta de notas, lapiceros, folder manilas, cilindro o acero galvanizado de 2mm de espesor y 40 cm de diámetro, regla graduada, cinta adhesiva, cronometro, comba, lamina de plástico, hojas de registro, baldes con capacidad mayor a 5 galones.

3.3. METODOLOGIA Y/O PROCEDIMIENTOS:

La metodología utilizada tiene como fin generar un modelo digital que muestre la tasa de erosión hídrica de la microcuenca. Cabe recalcar la importancia trabajo de campo y trabajo de gabinete.

En relación a los factores geomorfológicos, de cobertura y suelo principalmente, los dos primeros se generaron con ayuda de información de Imágenes de Satélite.

A) Delimitación de la microcuenca.

El área de estudio se encuentra dentro de la subcuenca Yapatera en el Distrito de Frías, se ha tomado como red de drenaje la quebrada Chaye Grande.

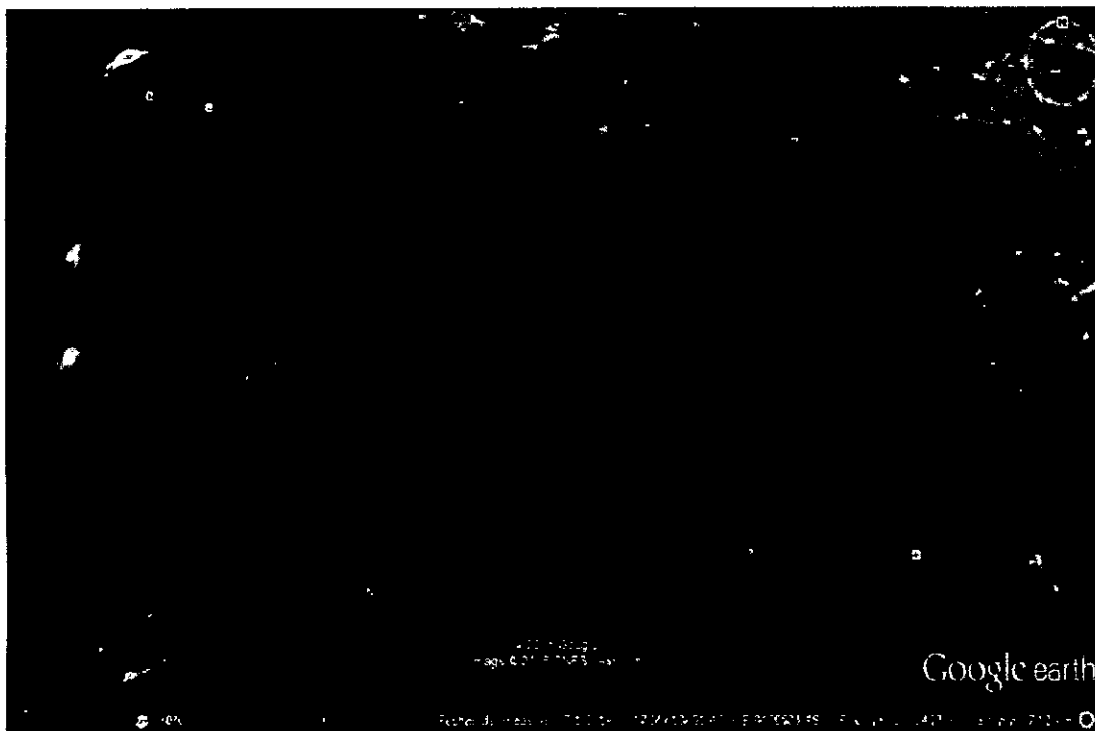
Para la delimitación de la microcuenca se utilizó el programa ArcGis 10.1 y la herramienta del ArcGIS (Arc Hydro tools), en el cual se procesó una imagen satelital ASTGTM_dem, dándole una proyección de coordenadas datum WGS1984_UTM_Zona17S, que son las proyecciones en las que se encuentra la región Piura.

De la imagen de satélite se han extraído curvas de nivel para elaborar un modelo digital de elevaciones, a partir del modelo digital de elevación (MDE) de la zona, se ha utilizado el comando FILL, para rellenar las imperfecciones existentes en la superficie del modelo digital de elevación, de tal forma que las celdas en depresión alcancen el nivel del terreno de alrededor y posteriormente se generó la red hidrográfica del área en estudio.

Después de realizar este procedimiento con ayuda de las herramientas de la extensión (Arc Hydro tools), se delimitó la microcuenca posteriormente se ha sobrepuesto capas que contiene información de distritos y centros poblados, obtenidas del Plan de Ordenamiento Territorial de la Región Piura.

Después de haber realizado una serie de procedimientos mediante el programa se obtuvo un mapa que representa la microcuenca de la quebrada Chaye Grande con una escala de 1:25000 que fue usado como mapa base para la realización de la metodología de USLE y para calcular la tasa de erosión hídrica en el área del proyecto.

Figura N°7. Microcuenca quebrada Chaye Grande.



Fuente: Elaboración Propia

APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO.

Esta ecuación permite predecir la cantidad de suelo que se pierde por erosión hídrica laminar bajo diferentes combinaciones de uso y manejo teniendo en cuenta las características físicas del terreno. La USLE tiene en cuenta seis factores y su modelo matemático es el siguiente:

ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO (Wischmeier, W. H., y Smith, D.D. 1978).

$$A = R.K.L.S.C.P$$

Dónde:

- A: pérdida anual de suelo (t/ha*año).
- R = Agresividad de la lluvia.
- K = Erodabilidad del suelo.
- LS = longitud de la pendiente en metros y gradiente.
- C = Factor cobertura.
- P = Prácticas de conservación del suelo.

MÉTODO DE LA FAO PARA CÁLCULO DE EROSIÓN HÍDRICA:

EROSIÓN HÍDRICA POTENCIAL:

Con el término erosión hídrica potencial se hace referencia a la susceptibilidad que tiene una zona o región a erosionarse por influencia del agua y por sus características físicas de clima, suelo y relieve.

$$E_p = R. K. LS$$

Dónde:

- **E_p**: pérdida anual de suelo (t/ha*año).
- R = Agresividad de la lluvia.
- K = Erodabilidad del suelo.
- LS = longitud de la pendiente en metros y gradiente.

EROSION HIDRICA ACTUAL

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

Dónde:

- **E_a**: pérdida anual de suelo (t/ha*año).
- R = Agresividad de la lluvia.
- K = Erodabilidad del suelo.

- **LS** = longitud de la pendiente en metros y gradiente.
- **C** = Factor cobertura.
- **P** = Prácticas de conservación del suelo.

Cuadro 3. Tasa de Erosión Hídrica.

Nivel de Erosión	T/ha año
Nula a leve	< 10
Moderada	10 – 50
Fuerte	50 – 200
Muy Fuerte	> 200

Fuente: FAO., PNUMA. Y UNESCO. 1981.

3.3.1. CÁLCULO DE LONGITUD DE PENDIENTE (FACTOR L).

En la revisión del factor topográfico LS efectuada por MCCOOL el al. (1989) se sigue considerando la influenciada de las mismas variables, longitud y ángulo de declive, sobre las pérdidas de suelo, si bien se evalúa dicha influencia con algunas modificaciones.

En la fórmula inicial propuesta por WISCHMEIER y SMITH (1978) para el cálculo de este factor tiene mucho mayor peso el valor de la pendiente S que el de su longitud L.

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m (65.41 \operatorname{sen}^2 \alpha + 4.56 \operatorname{sen} \alpha + 0.065)$$

En la RUSLE se aumenta la influencia concedida a la longitud del declive L, teniendo en cuenta que es decisiva para la iniciación de la formación de regueros a partir de los cuales se incrementan notablemente las pérdidas de suelo de las laderas (MEYER el al., 1975; FOSTER el al., 1977). Así, el factor L debe evaluarse a partir de la nueva expresión:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m \quad m = \frac{F}{(1 + F)}$$

Dónde:

λ : longitud de la pendiente (m),

m: exponente de la longitud de la pendiente

Donde 1 es la proyección horizontal de la longitud de ladera (no la longitud de la ladera paralela al terreno), y F es el cociente entre la erosión en regueros y la erosión entre regueros que se producen en cada parcela, y puede evaluarse en función de la pendiente del terreno, según la expresión de MCCOOL et al., (1989):

$$F = \frac{\sin \frac{\beta}{0.0896}}{3(\sin \beta)^{0.8} + 0.56}$$

Dónde:

β : el ángulo de la pendiente.

3.3.1.1. CÁLCULO DEL ANGULO DE LA PENDIENTE (β):

Para el cálculo del ángulo de la pendiente, se elaboró un mapa de pendiente, a partir del mapa "fill", se aplicó la función SLOPE que se encuentra en el menú surface, y se generó un mapa con la inclinación en grados de cada pixel, al que se le asignó el nombre de "Slope".

3.3.1.2. CÁLCULO DE FACTOR F:

Para el cálculo del Factor F se utilizó el mapa de "Slope" usle "mapa de pendientes en radianes " β " apoyados en el comando RASTER CALCULATOR ubicado en menú Map Algebra y se ingresara la siguiente fórmula:

$$F = \frac{\sin \frac{\beta}{0.0896}}{3(\sin \beta)^{0.8} + 0.56}$$

Nota: el valor del ángulo de mapa de pendientes se encuentra en grados sexagesimales Cuando se aplica esta fórmula en el Raster Calculator de ArcGIS se debe tomar en cuenta que el ángulo deberá ser convertido a radianes (1 grado sexagesimal = 0.01745 radianes) es decir se realizara la siguiente operación, (Slope*3.14159)/180.

Factor F: Formula a ingresar a RASTER CALCULATOR.

((Sin("slope"*0.01745) / 0.0896) / (3*Power(Sin("slope"*0.01745),0.8)+0.56))

De este proceso se obtuvo el "Factor F", que se usó para el cálculo del "Factor m"

3.3.1.3. CÁLCULO DE FACTOR m:

La magnitud del exponente (m) varía en función de la pendiente del terreno. Para el cálculo del "Factor m" se utilizó el mapa del "Factor F", apoyados en el comando RASTER CALCULATOR ubicado en menú Map Algebra y se ingresara la siguiente fórmula:

$$m = \frac{F}{(1 + F)}$$

Factor M: Formula a ingresar a RASTER CALCULATOR.

"FACTOR F" / (1+"FACTOR F")

De este procedimiento se obtendrá un mapa del "Factor m" el mismo que se ha utilizado para el cálculo de "Factor L"

CÁLCULO DE FACTOR L:

Para el cálculo del Factor L se utilizó el mapa de "Factor m" y apoyados en el comando RASTER CALCULATOR ubicado en menú Map Algebra y se ingresó la siguiente fórmula:

El factor L de (McCool et al, 1987,1989).

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m$$

El factor L con el área de drenaje aportadora (Desmet y Govers,1996)

$$L_{(i,j)} = \frac{(A_{(i,j)} + D^2)^{m+1} - A_{(i,j)}^{m+1}}{X^m \cdot D^{m+2} \cdot (22,13)^m}$$

Dónde:

$A_{(i,j)}$ [m] es el área aportadora unitaria a la entrada de un pixel (celda), D es el tamaño del pixel y X es el factor de corrección de forma.

Factor L: Formula a ingresar a RASTER CALCULATOR.

$$\frac{(\text{Power}(\text{"flow_acum"}+900),(\text{"Factor_M"}+1)) - \text{Power}(\text{"Flow_acum"},(\text{"Factor_M"}+1)))}{(\text{Power}(25,(\text{"Factor_M"}+2)) * \text{Power}(22.13,\text{"Factor_M"}))}$$

De este procedimiento se obtuvo un mapa del “Factor L” el mismo que se utilizó para el cálculo de “Factor LS”

3.3.2. CÁLCULO DEL GRADO DE PENDIENTE “FACTOR S”:

Para la obtención del factor S, se utilizó el mapa de pendientes obtenido anteriormente “Slope”, al cual en la función de RASTER CALCULATOR, se le aplicó la siguiente fórmula:

(McCool et al, 1987,1989).

$$S_{(i,j)} = \begin{cases} 10,8\sin\beta_{(i,j)} + 0.03 & \tan\beta_{(i,j)} < 0.09 \\ 16,8\sin\beta_{(i,j)} - 0.5 & \tan\beta_{(i,j)} \geq 0.09 \end{cases}$$

Factor S: Formula a ingresar a RASTER CALCULATOR.

$$\text{Con}((\text{Tan}(\text{"slope"}*0.01745) < 0.09), (10.8 * \text{Sin}(\text{"slope"} * 0.01745) + 0.03), (16.8 * \text{Sin}(\text{"slope"}*0.01745) - 0.5)).$$

De este procedimiento se obtuvo un mapa del “Factor S” el mismo que se utilizó para el cálculo de “Factor LS”

Para la obtención del factor LS, se multiplicó de los mapas de L y S, en la función RASTER CALCULATOR.

Factor LS: Formula a ingresar a RASTER CALCULATOR.

“Factor L” * “Factor S”.

Obteniendo el mapa de factor LS, al que le asignamos el nombre Factor_LS.

3.3.3. CÁLCULO DE LA ERODABILIDAD DEL SUELO (FACTOR K).

Se realizó el muestreo de suelos para determinar la textura, estructura, permeabilidad y porcentaje de materia orgánica.

El área de la microcuenca de la quebrada Chaye Grande es de 835.91 ha de las cuales se obtuvieron 64 puntos de muestreo (cada punto de muestreo con un área de 13 ha).

DETERMINACIÓN DE NÚMERO DE MUESTRAS:

La fórmula para calcular el tamaño de muestra cuando se desconoce el tamaño de la población es la siguiente:

$$n = \frac{N \times Z_a^2 \times p \times q}{d^2 \times (N - 1) + Z_a^2 \times p \times q}$$

en donde,

N = tamaño de la población = 64

Z = nivel de confianza = 0.95

P = probabilidad de éxito, o proporción esperada = 0.7

Q = (1-P) = 0.3

D = precisión (Error máximo admisible en términos de proporción) = 0.05







Por el gran tamaño de puntos de muestreo se tomó un tamaño de muestra con una seguridad del 95% y una precisión del 5% dando un tamaño de puntos de muestreo de 35 cada uno con una profundidad de 75 cm.

Para la ubicación del número de muestras obtenidas se cuadrículó el área del proyecto y se distribuyó cada punto de muestreo tanto en la parte alta, media y baja de la microcuenca.

Estructura del suelo: Se efectuara su determinación mediante observación visual y tacto.

Para ello es recomendable en un principio, emplear algún manual para comparación. De acuerdo a USLE, las categorías y códigos empleados son solo 4 (cuadro 4).

CUADRO 4: CÓDIGO DE ESTRUCTURA DEL SUELO USLE

Código USLE	Tipo de estructura	
1	Granular muy fina	
2	Granular fina	
3	Granular media a gruesa	
4	Bloques	
	Laminar	
	Masiva	

Fuente: Wischmeier, W. H., y Smith, D.D. 1978

PERMEABILIDAD:

Permeabilidad del suelo. En USLE, se asignó seis valores o códigos diferentes de acuerdo a la permeabilidad de un suelo determinado (cuadro 5) o también se puede determinar del nomograma de la figura 8.

CUADRO 5: CÓDIGOS USLE DE PERMEABILIDAD DEL SUELO

Código USLE	Categoría de permeabilidad
1	Rápida (más de 12,7 cm/h)
2	Moderada a rápida (6,3 a 12,7 cm/h)
3	Moderada (entre 2 y 6,3 cm/h)
4	Lenta a moderada (entre 0,5 y 2 cm/h)
5	Lenta (entre 0,13 y 0,5 cm/h)
6	Muy lenta (menor a 0,13 cm/h)

Fuente: Wischmeier, W. H., y Smith, D.D. 1978

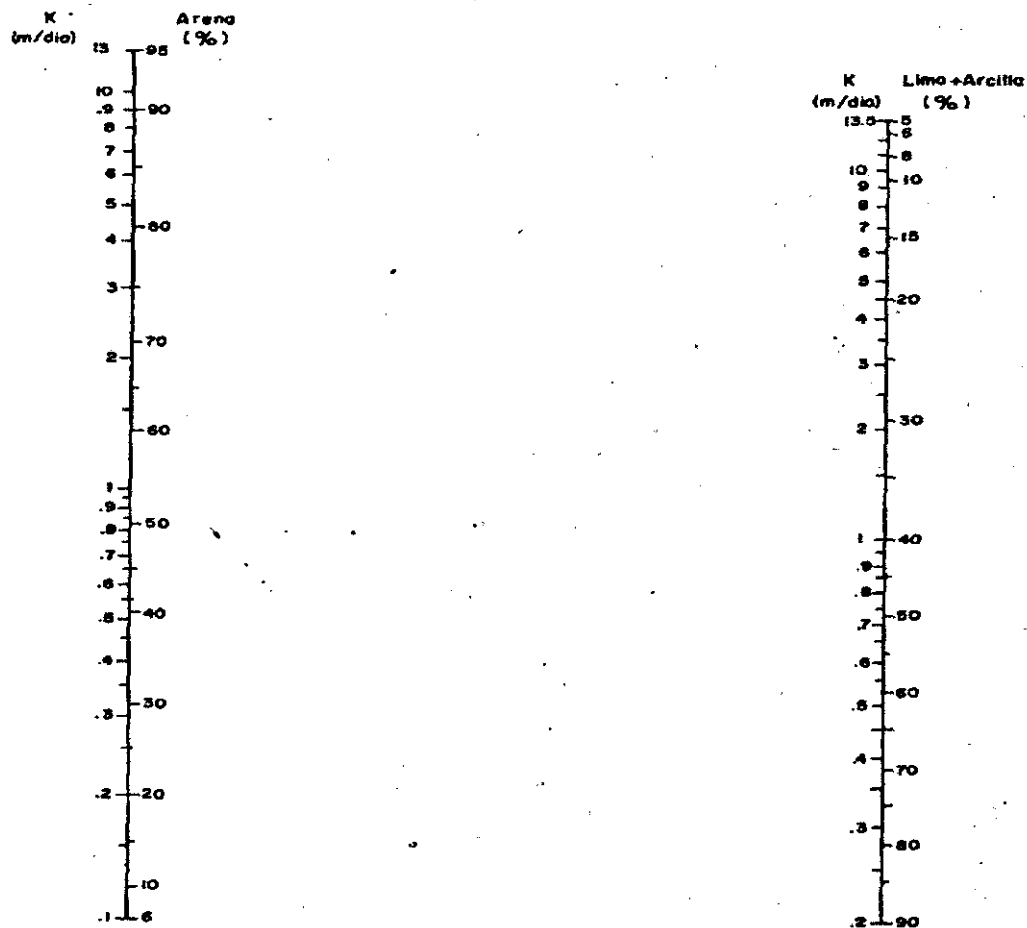


Figura N° 8: Nomograma para calcular la permeabilidad hidráulica.

VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN DEL AGUA EN EL SUELO.

MÉTODO DEL CILINDRO INFILTRÓMETRO:

- **SELECCIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LUGAR:**

Las pruebas se realizaron en los lugares representativos del terreno del cual se quiere conocer las características de infiltración.

Una vez elegido el lugar donde se efectuaron las pruebas, se procede a:

1. INSTALACIÓN DEL CILINDRO:

- Se introdujo el cilindro exterior en el lugar seleccionado mediante el uso de una comba sobre el tablón de madera que se haya colocado sobre el cilindro. El cilindro se introdujo hasta unos 15 cm aproximadamente.

- La introducción del cilindro se efectuó verticalmente a fin de evitar que se altere sustancialmente las condiciones de la superficie del suelo. Una vez instalado el cilindro se removió con cuidado el suelo que se encuentra adyacente a las paredes de estos y se colocó la regla graduada, fijándola adecuadamente en la parte externa del cilindro interior.
- Luego se extendió la lámina de plástico sobre la superficie del suelo del cilindro interior.

2. LLENADO DE LOS CILINDROS:

Una vez colocado el plástico en el cilindro interior se procedió a su llenado con agua hasta aproximadamente una lámina de 10 a 15 cm. El agua debe ser aplicada al cilindro. Llenado el cilindro se procedió a retirar el plástico para iniciar inmediatamente las lecturas de la carga de agua.

3. LECTURAS DEL NIVEL DE AGUA:

- Retirado el plástico del cilindro, se procedió a efectuar las lecturas del nivel de agua en el cilindro interior. Dicho nivel se midió con la regla graduada previamente instalada.
- Las mediciones normales se continuaron con un intervalo de tiempo determinado siendo al inicio estos intervalos de 1 a 2 minutos aproximadamente y luego se fueron distanciando gradualmente cada 5, 10, 15, 20 y 30 minutos; hasta finalmente completar la prueba.
- Cuando el cilindro se ha infiltrado una lámina de alrededor de 2,5 a 3 cm, se procedió a llenar nuevamente procurando alcanzar el mismo nivel inicial. Esta operación se realizó rápidamente, para lo cual se debe efectuó una lectura antes e inmediatamente después del llenado a fin de que el tiempo transcurrido sea el mínimo.

• **CÁLCULO Y REGISTRO DE DATOS:**

- Los datos de campo se anotaron en las columnas 1 y 4 del formato 3.
- En base a los datos de campo tomados se procedió al llenado del resto de columnas del formato 3.

PRUEBA DE INFILTRACION

CAMPO: Chaye Grande

OBSERVADOR:

FECHA:

N° DE PRUEBA:

METODO: DEL CILINDRO INFILTROMETRO

OBSERVACIONES:

TEXTURA:

Cuadro N° : Prueba de infiltración.

CÁLCULO DE LOS PARAMETROS DE LA FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN.

Cuadro 6: Formato para calcular parámetros de velocidad de infiltración.

Hora	Tiempo (min)		Lectura (cm)	Lamina infiltrada (cm).		Velocidad de infiltración (cm/hora)	
	Parcial	Acumulado (t0)		Parcial	Acumulada (lcum)	Instantánea (l)	Promedio (lp)
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
9.33 a.m	0	0					
	1	1					

$$l = a \cdot t_0^b$$

El problema consiste en calcular los parámetros a y b, para lo cual se utilizó la técnica de los mínimos cuadrados y se procedió en forma similar al caso anterior.

$$b = \frac{n(\sum xy) - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - \sum x^2}$$

$$a_0 = \frac{\sum y}{n} - \frac{(b) \sum x}{n}$$

$$\text{antilog}(a_0) = a$$

3.3.3.1. MÉTODO DE LA ECUACIÓN.

Una vez realizado el análisis de textura y determinado los valores o códigos de materia orgánica, estructura y permeabilidad, se estuvo en condiciones de calcular el factor K. Al respecto, se establece en USLE una ecuación para el factor de erodabilidad en la forma:

(Wischmeier, W. H. 1971):

$$K = 0.1313 * [2,1 * 10^{-4} * (12 - MO) * M^{1.14} + 3,25 * (s - 2) + 2,5 * (p - 3)] / 100$$

Dónde:

MO: Contenido en materia orgánica (%).

S: código de la estructura del suelo.

P: código de permeabilidad.

M: factor dado por el producto de la suma de los porcentajes de limo y arena muy fina con la suma de los porcentajes de arena y limo. En términos matemáticos M corresponde a (% limo+ arena muy fina) * (100 - % arcilla).

Cabe señalar que esta ecuación es válida para suelos que tienen 70% o menos de fracción limosa.

3.3.3.2. MÉTODO GRÁFICO.

El método grafico o monograma de erodabilidad es la manera más tradicional de estimar el factor K, A pesar de representar la misma ecuación del método anterior, es menos exacto, debido al sesgo visual en que puede incurrir el interesado. En este caso es bueno apoyarse de una regla o algún otro elemento recto de tal forma de minimizar el error. Se emplean dos gráficos conectados, según es el esquema presentado en la figura 9.

La determinación grafica del factor de erodabilidad se efectuó proyectando siempre líneas rectas en el interior del monograma. Se comienza ingresando con el porcentaje de limo más arena muy fina en el grafico izquierdo. A partir de este valor, se proyecta una línea recta hasta intersectar la correspondiente curva representativa del porcentaje de arena del suelo. Desde ese punto se proyectó verticalmente la línea hasta tocar con la curva que representa el porcentaje de materia orgánica del suelo. Desde allí se continua hacia la derecha, cruzando la primera aproximación del valor K, la cual es útil se no se dispone de los antecedentes de estructura o permeabilidad. De esta manera, se ingresa al grafico derecho, continuando la proyección realizada, hasta intersectar la línea correspondiente al código de estructura del suelo. Desde ese punto, se descendió por el grafico hasta topar la línea que representa el código de permeabilidad adecuado al suelo en estudio. Finalmente, desde ese punto se trazó una la línea recta hacia la izquierda del gráfico, hasta encontrar el factor correspondiente de erodabilidad del suelo K.

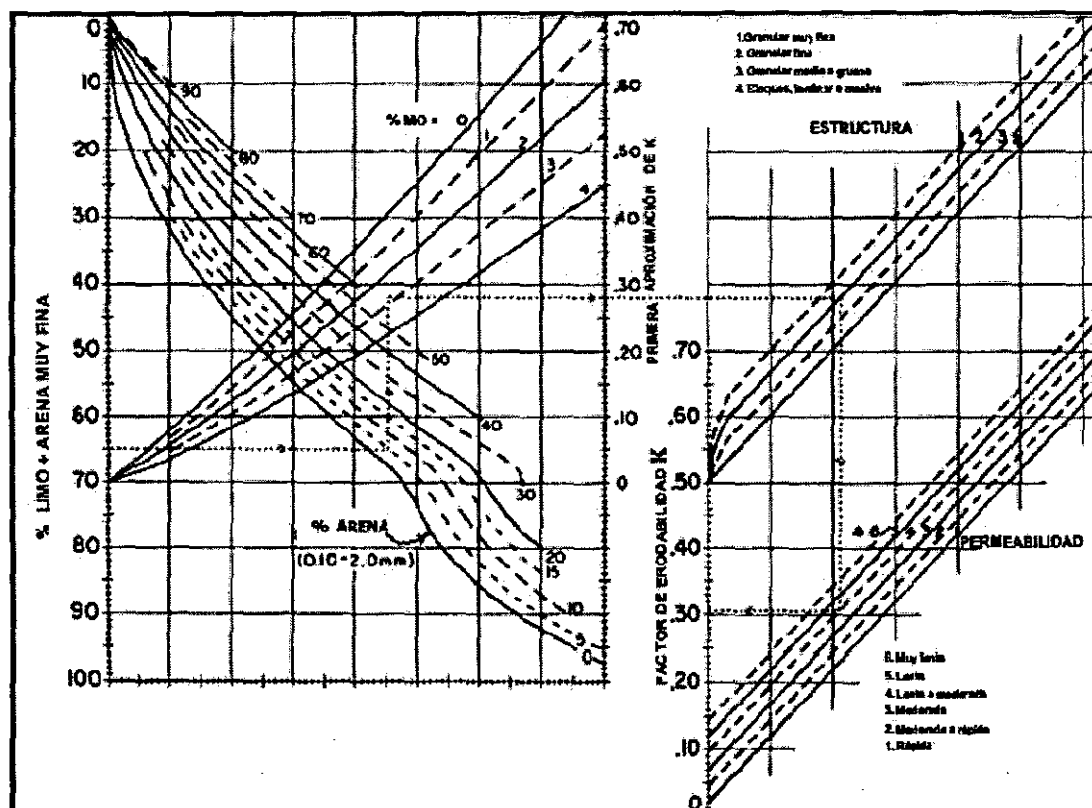


Figura N° 9: Nomograma de erodabilidad. Fuente Wischmeier y Smith (1971).

Se vectorizó cada muestra de suelo a través de un punto en formato shape al cual se le asignó sus coordenadas y datum; UTM WGS 1984-Zona 17S y se le dió atributos (Factor K). Haciendo uso de una herramienta de ArcGIS ubicado en el menú Interpolation método IDW la información de cada punto (Muestra de suelo) se interpoló generando un mapa de erodabilidad del suelo.

3.3.4. CÁLCULO DE COBERTURA VEGETAL. (FACTOR C).

Se visualizó la microcuenca para identificar el tipo de cultivos de la zona como también se tomó fotografías que nos ayudaron en la elaboración del mapa de cobertura vegetal.

Se generó un mapa de cobertura vegetal el mismo que se obtuvo de una imagen satelital LANDSAT (L8 OLI/TIRS), imagen satelital de 5 bandas las cual se unió con una herramienta del SIG (ArcGIS 10.1), a través de la cual se realizó una combinación de bandas que generaron una serie de colores que se emplearon para identificar usos de suelo y discriminación de ciertas coberturas. Como apoyo para la elaboración del mapa de cobertura vegetal se utilizaron fotografías de la zona del proyecto que nos dio una mayor representación de la realidad.

Se vectorizó cada cobertura vegetal a través de polígonos con una proyección a coordenadas y datum UTM-WGS-1984-Zona 17S a los cuales se les asignaron atributos (Factor C) para luego la generar el mapa de cobertura vegetal.

El factor K en el Sistema Internacional de Unidades es expresado en Ton-ha-h/ha-MJ-mm, que expresa la resistencia del suelo en la superficie y tiempo, respecto a la energía de la lluvia.

CUADRO N°7: TABLA DE VALORES DE COBERTURA VEGETAL (C)

Cultivo y practica	Media anual del factor C
Suelo desnudo	1.0
Bosque o matorral denso	0.001
Pradera herbácea en buenas condiciones	0.01
Pradera sobre pastoreada	0.1
Maíz, sorgo, alto rendto., laboreo convencional	0.20 – 0.55
Maíz, sorgo, alto rendto.,sin laboreo convencional	0.50 – 0.90
Maíz, sorgo, bajo rendto.,laboreo mínimo	0.02 – 0.10
Maíz, sorgo, alto rendto.	0.12 – 0.20
Maíz, sorgo, bajo rendto.	0.30 – 0.45
Algodón	0.40 – 0.70
Pradera herbácea	0.01 – 0.025
Soya	0.20 – 0.50
Trigo	0.10 – 0.40
Arroz	0.10 – 0.20
Cacahuete	0.30 – 0.80
Frutales con cobertura vegetal	0.01 – 0.8
Caña de azúcar	0.56
Arbolado denso	0,001-0,003
Arbolado forestal clareado	0,003-0,009
Arbolado muy clareado (25-60%)	0,041
Matorral con buena cobertura	0,003-0,013
Matorral ralo y eriales	0,20-0,013
Cultivos anuales y herbáceos	0,25
Pasturas	0,15
Plantas herbáceas y matorjos (100%)	0,003
Plantas herbáceas y matorjos (60%)	0,035
Cubierta escasa (60%)	0,15-0,09
Cubierta inapreciable	0,45

Fuente: Wischmeier, 1978

3.3.5. CÁLCULO DE AGRESIVIDAD DE LLUVIA (FACTOR R).

Se localizaron las estaciones meteorológicas más cercanas al área del proyecto (estaciones meteorológicas Altos de Poclús, Sapolilica, San Pedro.), de las cuales se utilizó data de precipitaciones (precipitación media anual).

El factor R se dedujo a partir del producto de la energía cinética liberada por la lluvia (E) y la máxima intensidad de precipitación durante un intervalo de 30 minutos (I30) de la tormenta mediante la siguiente ecuación:

(Wischmeier, W. H., y Smith, D.D. 1978).

$$R = \sum E \cdot I_{30}$$

Como se puede notar, el procedimiento para estimar R requiere de información detallada sobre registros pluviográficos continuos de lluvias diarias sobre períodos de varios años.

En la práctica, especialmente en países en desarrollo, dichos registros son escasos, cortos o inexistentes, debido a la falta de presupuestos para la operación de las redes de observación. Cuando no se dispone de registros pluviográficos lo suficientemente detallados como para evaluar el valor medio de R, se suele utilizar la precipitación total anual.

K. Renard y J. Freimund (1994) presentaron las ecuaciones de regresión siguientes para distintas zonas climáticas:

$$R = 0.074F^{1.85}$$

donde,

R, es el índice de erosión pluvial. ((MJ.mm)/(ha. h.))

P, es la precipitación promedio anual (mm).

F, es el índice de Fournier (1960).

$$F = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P}$$

Donde,

p_i , es la precipitación mensual y P es la precipitación anual.

Estas ecuaciones siempre dan altos coeficientes de determinación ($r^2=0,81$) y el error estándar alto, por lo que se recomienda un mejor ajuste.

Con un mejor ajuste para los mismos autores K. Renard y J. Freimund (1994) el (EI_{30}) es el siguiente:

$$EI_{30} = 5.954R^{0.6987}$$

Los valores de R para cada estación pluviométrica se representaron en un sistema de representación geográfica (GIS) el cual calcula los valores de R en las zonas intermedias a partir de los valores de las estaciones próximas.

El factor R en el Sistema Internacional de Unidades es expresado en MJ-mm/ha-h-año. Que expresa la energía de la lluvia en superficie y tiempo.

Se vectorizó cada muestra de estación meteorológica a través de un punto en formato shape al cual se le asignó sus coordenadas datum UTM WGS 1984-Zona 17S y se le dió atributos (Factor R). Haciendo uso de una herramienta de ArcGIS ubicado en el menú Interpolation método SPLINE la información de cada punto (Datos de precipitaciones) se interpoló y se generó un mapa de agresividad de la lluvia.

3.3.6. FACTOR DE PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS. (FACTOR P).

Se visualizó y reconoció si en el área del proyecto se realizan prácticas de conservación de suelos (curvas a nivel, terrazas, etc.), lo que permitirá generar un factor en la USLE.

El cuadro siguiente presenta los valores más comunes de P, de acuerdo a la práctica conservacionista.

Cuadro N° 8: Valores para Prácticas conservacionistas, el Factor P.

Prácticas Conservacionistas	factor P	Fuente
curvas a nivel	0.6	Zabala E, Marelli H. y Sanabria J, 2003.
terrazas	0.2	
sin prácticas	1	

Fuente: Sanabria J, 2003.

3.4. CÁLCULO DE EROSIÓN HIDRICA POTENCIAL:

La erosión potencial se estimó utilizando la ecuación, que considera los factores inmodificables R K LS.

$$Ep = R \cdot K \cdot LS$$

Dónde:

- **Ep:** pérdida anual de suelo (t/ha*año).
- **R** = Agresividad de la lluvia.
- **K** = Erodabilidad del suelo.
- **LS** = longitud de la pendiente en metros y gradiente.

Para el cálculo de la Erosión Potencial nos apoyamos en el comando RASTER CALCULATOR ubicado en menú Map Algebra y se ingresó la siguiente fórmula:

$$Ep. = \text{"Factor R"} * \text{"Factor K"} * \text{"Factor LS"}.$$

El resultado de esta operación generó un mapa de la erosión potencial en unidades de (Tn/ha/año.)

3.5. CÁLCULO DE EROSIÓN HÍDRICA ACTUAL:

EROSIÓN HÍDRICA ACTUAL

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

donde:

- A=pérdida anual de suelo (t/ha*año).
- R = Agresividad de la lluvia.
- K = Erodabilidad del suelo.
- LS = longitud de la pendiente en metros y gradiente.
- C = Factor cobertura.
- P = Prácticas de conservación del suelo.

Para el cálculo de la Erosión Actual nos apoyamos en el comando RASTER CALCULATOR ubicado en menú Map Algebra y se ingresó la siguiente fórmula:

$$A = \text{"Factor R"} * \text{"Factor K"} * \text{"Factor LS"} * \text{"Factor C"} * \text{"Factor P"}.$$

El resultado de esta operación nos generó un mapa de la Erosión Actual en unidades de (Tn/ha/año.)

3.6. DETERMINACIÓN DE EROSIÓN GENERADA POR LA MICROCUENCA.

El valor total de la erosión de la microcuenca se obtuvo a partir de la herramienta Statistics que nos dio un valor en Toneladas generadas por toda la superficie de la microcuenca.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. DISEÑO DEL MODELO.

Para implementar la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE) en ArcGis se calculó por separado cada uno de los factores que la integran mediante una serie de operaciones, dando como resultado una capa raster para cada factor. Esto nos ha permitido a posteriori operar con todas las capas resultantes para obtener los mapas de riesgo de erosión esperada.

4.1.1 OBTENCION DE VARIABLES:

Mapa Base:

Este mapa consta de los límites de la cuenca, delimitado según lo explicado anteriormente, y contiene las curvas de nivel y la red de drenaje.

Este mapa se ha digitalizado a escala 1:25000.

A partir de este mapa base se han generados las variables que componen la USLE.

4.1.1.1. Índice de erosión pluvial: factor R

Con este factor se mide la erosionabilidad de las precipitaciones o el denominado Índice de erosión pluvial (R).

La precipitación de la zona varía desde 400 mm hasta cerca de 1000 mm por año, con una marcada estacionalidad en los meses de Diciembre – Abril en el cual se presentan las mayores precipitaciones, ocasionando altas intensidades.

El factor R que se encuentra involucrado en la USLE se determinó empleando las Ecuaciones de Wischmeier y K. Renard y J. Freimund (1994).

Reg. 6538 — 29/11/16 LMP

ESTACION ALTOS DE POCLÚS:

K. Renard y J. Freimund (1994) presentaron las ecuaciones de regresión siguientes para distintas zonas climáticas:

$$R = 0.047F^{1.85}$$

donde,

R, es el índice de erosión pluvial. ((MJ.mm)/ (ha. h.))

P, es la precipitación promedio anual (mm).

F, es el índice de Fournier (1960).

$$\begin{aligned} F &= \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P} \\ &= \frac{128.4^2 + 196.8^2 + 161.3^2 + 137.9^2 + 67.5^2 + 9.5^2 + 2.6^2 + 5.1^2 + 6.8^2 + 43.6^2 + 56.2^2 + 66.1^2}{725.6} \\ &= 157.7 \text{ mm} \end{aligned}$$

Donde,

pi, es la precipitación promedio mensual y P es la precipitación promedio anual.

$$R = 0.074F^{1.85} = 0.074 * 157.7^{1.85} = 861.43 \frac{\text{MJ.mm}}{\text{ha.h.año}}$$

Con un mejor ajuste para los mismos autores K. Renard y J. Freimund (1994) el (EI30) es el siguiente:

$$EI_{30} = 5.954R^{0.6987} = 5.954 * 861.43^{0.6987} = 669.34 \frac{\text{MJ.mm}}{\text{ha.h.año}}$$

CUADRO N° 9 : ESTACION ALTOS DE POCLUS

ESTACION:		ALTOS DE POCLUS.				LATITUD :		04°55'						
DISTRITO		FRIAS				LONGITUD:		79°53' 5"						
CATEGORIA:		P L U				ALTITUD :		3,070 msnm.		PRECIPITACION TOTAL MENSUAL : mm.				
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	MEDIA
2009				88.3	63.5	12.5	3.5	24.5	0.0	22.6	50.0	65.6	330.5	36.7
2010	120.6	287.1	155.6	142.3	76.3	15.6	6.0	1.8	2.2	26.0		78.3	911.8	82.9
2011	139.2	153.4	124.5	347.8	16.0	9.7	3.2	0.0	23.6	66.6	104.6	103.8	1,092.4	91.0
2012	275.1		154.2	128.1	7.7	4.0	0.0	0.0	0.0	43.5	103.6	37.3	753.5	68.5
2013	62.4	150.0	137.3	73.0	161.1	3.8	0.0	4.4	4.2	54.0	0.0	50.6	700.8	58.4
2014	44.6		235.1	48.0	80.2	11.2	2.8	0.0	10.6	48.8	22.6	60.8	564.7	51.3
MAX	275.1	287.1	235.1	347.8	161.1	15.6	6.0	24.5	23.6	66.6	104.6	103.8	1,092.4	91.0
MED	128.4	196.8	161.3	137.9	67.5	9.5	2.6	5.1	6.8	43.6	56.2	66.1	725.6	64.8
MIN	44.6	150.0	124.5	48.0	7.7	3.8	0.0	0.0	0.0	22.6	0.0	37.3	330.5	36.7

Fuente : SENAMHI.

CUADRO N°10 : ESTACIÓN SAPILLICA

ESTACION:		SAPILLICA		LATITUD :		4°47'47"									
DISTRITO		SAPILLICA		LONGITUD:		79°59' 59"									
CATEGORIA:		P L U		ALTITUD :		1406 msnm.									
ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	MEDIA	
2010		292.3	265.5	170.7	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	7.5	6.7	762.3	69.3	
2011	15.0	82.9	26.7	233.7	6.4	14.2	3.2	0.0	0.0	7.3	6.6	46.8	442.8	36.9	
2012	123.7	481.9	151.6	200.3	23.5	34.4	0.0	0.0	0.0	2.6	3.6	7.9	1,029.5	85.8	
2013	84.0	66.1	159.7	23.5	93.1	0.0	0.0	0.0	0.0	14.7	0.0	6.1	447.2	37.3	
2014		67.6	91.3	42.9	113.6	15.4	0.0	0.0	0.0	6.2	1.2	2.4	340.6	31.0	
MAX	123.7	481.9	265.5	233.7	113.6	34.4	3.2	0.0	0.0	14.7	7.5	46.8	1,029.5	85.8	
MED	74.2	198.2	139.0	134.2	50.3	12.8	0.6	0.0	0.0	7.1	3.8	14.0	604.5	52.0	
MIN	15.0	66.1	26.7	23.5	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	0.0	2.4	340.6	31.0	

Fuente : SENAMHI.

CUADRO N°11: ESTACIÓN SAN PEDRO - CHULUCANAS

ESTACION:			SAN PEDRO			LATITUD :			5°5'5"					
DISTRITO			CHULUCANAS			LONGITUD:			80°2' 2"					
CATEGORIA:			P L U			ALTITUD :			309 msnm.			PRECIPITACION TOTAL MENSUAL : mm.		
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	MEDIA
2010	33.2	162.9	144.5	63.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.8	2.3	8.0	421.5	35.3
2011	12.0	43.7	12.3	213.5	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	4.8	9.2	300.0	25.0
2012	33.1	237.8	348.5	155.5	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	12.7	0.0	788.8	65.7
2013	58.3	41.7	258.0	2.2	33.4	0.0	0.0	0.0	0.0	12.1	0.0	5.0	410.7	34.2
2014	13.2	25.3	70.3	7.0	9.3	0.0	1.2	0.0	0.0		2.1	5.1	133.5	12.0
MAX	58.3	237.8	348.5	213.5	33.4	0.0	1.2	0.0	0.0	12.1	12.7	9.2	788.8	65.7
MED	30.0	102.3	166.7	88.4	9.2	0.0	0.5	0.0	0.0	5.0	4.4	5.5	410.9	34.5
MIN	12.0	25.3	12.3	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	133.5	12.0

Cuadro n°12: PRECIPITACION PROMEDIO ANUAL (2009-2014) Y FACTOR DE AGRESIVIDAD DE LA LLUVIA.

ESTACION	Este	Norte	Altitud	Prec. Prom anual (mm)	EI30(MJ.mm/ha.h. año)
Altos de Poclús	624180	9456075	3070	725.6	669.34
Sapillica	612730	9472071	1406	604.5	577.66
San Pedro Chulucanas.	607155	9438038	330	410.9	443.50

Fuente: Elaboración propia.

A partir de las coordenadas geográficas de cada una de las estaciones meteorológicas se generó una capa de puntos a la que se asignaron los valores de altitud, precipitación media anual y erosividad de la lluvia, los valores de Factor R de cada estación se interpolan dando un mapa de agresividad de la lluvia.

Cuadro n°13: ESTACION ALTOS DE POCLUS- FRIAS.

AÑO	F	EI30
2010	169.28	733.53
2011	188.98	845.72
2012	172.47	751.48
2013	117.09	455.50
2014	128.97	516.14

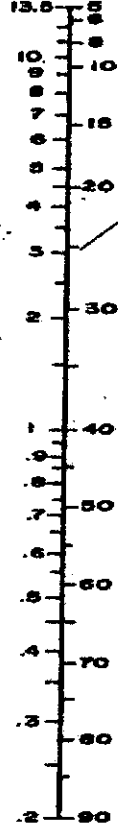
Fuente: elaboración propia

4.1.1.2. FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO: FACTOR K

Código de Permeabilidad:

PERMEABILIDAD CON USO DE NOMOGRAMA:

K
(m/día)
Limo + Arcilla
(%)



MUESTRA N° 13:

$$\% \text{ Limo } \% \text{ Arcilla} = 17 + 8 = 25$$

Buscamos este valor en el nomograma:

El valor de la permeabilidad es 3.15 m/día es decir 12.67 cm/h

Código USLE	Categoría de permeabilidad
1	Rápida (más de 12,7 cm/h)
2	Moderada a rápida (6,3 a 12,7 cm/h)
3	Moderada (entre 2 y 6,3 cm/h)
4	Lenta a moderada (entre 0,5 y 2 cm/h)
5	Lenta (entre 0,13 y 0,5 cm/h)
6	Muy lenta (menor a 0,13 cm/h)

Es decir que el código de permeabilidad de la muestra es 1.

Código de estructura: la estructura del suelo se determinó en campo otorgándosele el valor indicado en la tabla de factor K.

CUADRO N° 14: PRUEBA DE INFILTRACION

CAMPO: Chaye Grande

FECHA: 02/07/2015

TEXTURA: Franco arenoso.

OBSERVADOR: YOEL ESLEITER CORDOVA ELERA

N° DE PRUEBA: METODO: DEL CILINDRO INFILTROMETRO

MUESTRA N°: 13

TIEMPO (min)			LECTURA	LAMINA INFILTRADA		VELOCIDAD DE INFILTRACION (cm/hora)	
HORA	PARCIAL	ACUMULADO	(cm)	PARCIAL	ACUMULADA	INSTANTANEA	ACUMULADA
9.4	0	0	22	0	0	0	
9.4	1	1	20.9	1.1	1.1	66	66
9.41	1	2	20.4	0.5	1.6	30	48
9.42	1	3	20	0.4	2	24	40
9.43	1	4	19.5	0.5	2.5	30	37.5
9.44	1	5	19.3	0.2	2.7	12	32.4
9.45	1	6	19	0.3	3	18	30
9.46	1	7	19/22/21.5	0.5	3.5	30	30.0
9.49	3	10	20.8	0.7	4.2	14	25.2
9.52	3	13	20.5	0.3	4.5	6	20.8
9.55	3	16	19.7	0.8	5.3	16	19.875
9.6	5	21	19/22/21.9	0.8	6.1	9.6	17.43
9.65	5	26	21.2	0.7	6.8	8.4	15.69
9.7	5	31	20.5	0.7	7.5	8.4	14.52
10.1	10	41	19.2	1.3	8.8	7.8	12.88
10.2	10	51	19/22/21.2	1	9.8	6	11.53
10.3	10	61	20	1.2	11	7.2	10.82
10.4	20	81	18.5/22/21.5	2	13	6	9.63

CUADRO N° 15: CALCULO DE VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN:

Tiempo	I	log T =X	log (Icum) = Y	X.Y	X^2	y^2
ACUMULADO(min)	(cm/h)					
1	66.00	0.00	1.82	0.00	0.00	3.3107
2	48.00	0.30	1.68	0.51	0.09	2.8266
3	40.00	0.48	1.60	0.76	0.23	2.5666
4	37.50	0.60	1.57	0.95	0.36	2.4776
5	32.40	0.70	1.51	1.06	0.49	2.2817
6	30.00	0.78	1.48	1.15	0.61	2.1819
7	30.00	0.85	1.48	1.25	0.71	2.1819
10	25.20	1.00	1.40	1.40	1.00	1.9639
13	20.77	1.11	1.32	1.47	1.24	1.7356
16	19.88	1.20	1.30	1.56	1.45	1.6856
21	17.43	1.32	1.24	1.64	1.75	1.5407
26	15.69	1.41	1.20	1.69	2.00	1.4297
31	14.52	1.49	1.16	1.73	2.22	1.3499
41	12.88	1.61	1.11	1.79	2.60	1.2318
51	11.53	1.71	1.06	1.81	2.92	1.1274
61	10.82	1.79	1.03	1.85	3.19	1.0696
81	9.63	1.91	0.98	1.88	3.64	0.9675
total		18.26	22.95	22.50	24.50	31.9287

Fuente: Elaboración propia.

CALCULO DE LOS PARAMETROS DE LA FUNCION DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACION

$$b = \frac{n(\sum xy) - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - \sum x^2}$$

$$b = \frac{17(22.5) - (18.2632)(22.95)}{17(24.5009) - 18.2632^2}$$

$$b = -0.44$$

$$a = \frac{\sum y}{n} - \frac{(b) \sum x}{n}$$

$$a = \frac{22.95}{17} - \frac{(-0.44)(18.2632)}{17} = 1.82$$

$$\text{antilog}(1.82) = 66.07$$

$$r^2 = \frac{(\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n})^2}{(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n})(\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n})}$$

$$r^2 = \frac{(22.5 - \frac{(18.2632)(22.95)}{17})^2}{(24.5009 - \frac{18.2632^2}{17})(31.9287 - \frac{22.95^2}{17})}$$

$$r^2 = 0.9979 = 99.79\%$$

$$I = at^b$$

$$I = 66.07t^{-0.44}$$

Permeabilidad de la muestra es: 10.90 cm/h.

CUADRO N°16: VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN DEL AGUA EN EL SUELO.

N° Muestras	Código usle	Método del cilindro. cm/h
13	2	10.9
20	1	38.599
32	3	2.23

Fuente: Elaboración propia.

Para la metodología se usó el nomograma de la Figura N° 8: Nomograma para calcular la permeabilidad hidráulica ya que los datos son similares y se encuentran dentro del mismo intervalo de los rangos de los códigos de permeabilidad de la USLE.



Figura N°10: Prueba cilindro infiltrómetro.



Figura N°11: Prueba cilindro infiltrómetro.

Cuadro N° 17: CODIGO DE ESTRUCTURA Y PERMEABILIDAD DE CADA MUESTRA.

N° muestra	Cod. permeab.	cod. Estruct	permeabilidad (m/día)	Permeabilidad (cm/h)
1	3	3	0.99	4.13
2	3	3	0.94	3.92
3	3	3	0.99	4.13
4	1	3	7.80	32.50
5	1	3	10.90	45.42
6	3	3	1.20	5.00
7	4	3	0.38	1.58
8	4	3	0.44	1.83
9	3	3	0.94	3.92
10	3	3	0.63	2.63
11	1	3	12.40	51.67
12	3	3	0.88	3.67
13	1	3	3.04	12.67
14	1	3	11.70	48.75
15	1	3	7.30	30.42
16	1	3	7.30	30.42
17	3	3	0.50	2.08
18	3	3	0.57	2.38
19	1	3	6.60	27.50
20	1	3	8.70	36.25
21	3	3	0.53	2.21
22	3	3	0.48	2.00
23	1	3	5.00	20.83
24	2	3	2.20	9.17
25	3	3	0.75	3.13
26	3	3	0.83	3.46
27	3	3	1.20	5.00
28	3	3	0.85	3.54
29	1	3	13.50	56.25
30	3	3	0.73	3.04
31	3	3	0.75	3.13
32	3	3	0.53	2.21
33	3	3	0.80	3.33
34	3	3	1.50	6.25
35	3	3	0.90	3.75

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro N°18: FACTOR DE EROSDABILIDAD DEL
SUELO : FACTOR K**

N° muestra	%arena	%Limo	%arcilla	%M.O	clase textural	estructura	permeabilidad	Factor_k_
1	59	27	14	0.87	franco arenoso	granular media	moderada	0.08327
2	57	23	20	0.3	Franco arcilloso arenoso	granular media	moderada	0.07469
3	59	18	23	0.3	Franco arcilloso arenoso	granular media	moderada	0.06881
4	87	7	6	0.4	Franco arenoso	granular media	rápida	0.09855
5	92	5	3	0.19	Arenoso	granular media	rápida	0.10800
6	62	24	14	0.17	Franco arenoso	granular media	moderada	0.08824
7	30	34	36	0.4	Franco arcilloso	granular gruesa	lenta a moderada	0.04953
8	34	33	33	0.38	Franco arenoso	granular gruesa	lenta a moderada	0.05423
9	57	27	16	0.2	Franco arenoso	granular media	moderada	0.08365
10	46	30	24	0.35	Franco	granular media	moderada	0.06665
11	94	4	2	0.1	Arenoso	granular media	rápida	0.11147
12	56	19	25	0.27	Franco arcilloso arenoso	granular gruesa	moderada	0.06521
13	75	17	8	0.14	Franco arenoso	granular gruesa	rápida	0.09916
14	93	4	3	0.1	Arenoso	granular gruesa	rápida	0.10884
15	87	8	5	0.11	Arenoso franco	granular media	rápida	0.10360
16	87	6	7	0.69	Franco arenoso	granular media	rápida	0.09366
17	38	30	32	0.13	Franco arcilloso	granular media	moderada	0.05359
18	42	27	31	0.39	Franco arcilloso	granular media	moderada	0.05414
19	85	7	8	0.12	Arenoso franco	granular media	rápida	0.09604
20	89	6	5	0.09	Arenoso franco	granular media	rápida	0.10378
21	41	29	30	0.27	Franco arcilloso	granular gruesa	moderada	0.05634
22	37	31	32	0.42	Franco arcilloso	granular media	moderada	0.05239
23	83	10	7	0.26	Arenoso franco	granular media	rápida	0.09731
24	70	20	10	0.2	Franco arenoso	granular media	Moderada-rápida	0.09389
25	52	20	28	0.75	Franco arcillo arenoso	granular media	moderada	0.05752
26	54	20	26	0.39	Franco arcillo arenoso	granular media	moderada	0.06277

27	62	17	21	0.69	Franco arcillo arenoso	granular media	moderada	0.07042
28	55	24	21	0.38	Franco Arcillo arenoso	granular media	moderada	0.07223
29	97	2	1	0.1	Arenoso	granular media	rápida	0.11414
30	50	22	28	0.6	Franco arcillo arenoso	granular media	moderada	0.05823
31	52	20	28	0.16	Franco arcillo arenoso	granular media	moderada	0.06031
32	40	35	25	0.5	Franco	granular media	moderada	0.06401
33	53	21	26	0.2	Franco arcillo arenoso	granular media	moderada	0.06373
34	64	24	12	0.12	Franco arenoso	granular media	moderada	0.09313
35	57	23	20	0.27	Franco arcillo arenoso	granular media	moderada	0.07487

Fuente: Elaboración propia.

(Wischmeier, W. H. 1971):

$$K = 0.1313 * [2.1 * 10^{-4} * (12 - MO) * M^{1.14} + 3.25 * (s - 2) + 2.5 * (p - 3)] / 100$$

Dónde:

MO: Contenido en materia orgánica (%).

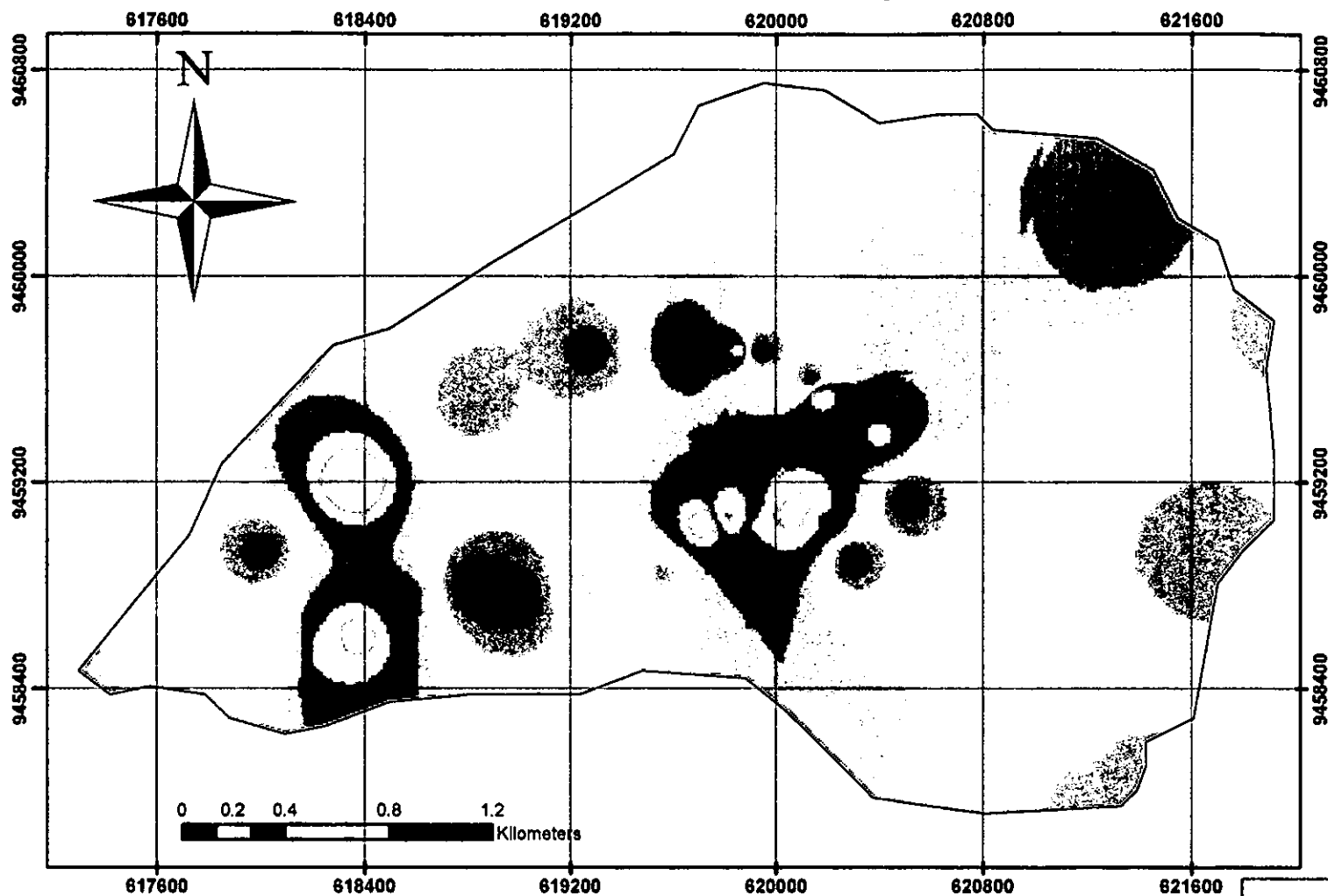
S: código de la estructura del suelo.

P: código de permeabilidad.

M: (% limo+ arena muy fina) * (100 - % arcilla).

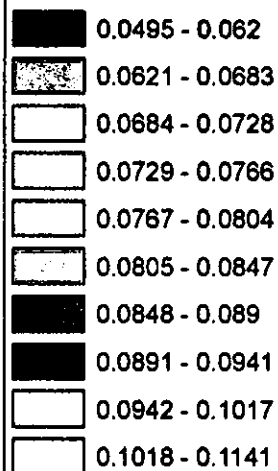
$$K = 0.1313 * \frac{[2.1 * 10^{-4} * (12 - 0.87) * ((27 + 59) * (100 - 14))^{1.14} + 3.25 * (3 - 2) + 2.5 * (3 - 3)]}{100} = 0.08327 \frac{Tn. h}{Mj. mm}$$

MAPA DE ERODABILIDAD DEL SUELO



Erodabilidad del suelo.

Tn-h / MJ-mm





 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA FACULTAD DE AGRONOMIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA</p> 		
<p>PROYECTO "ESTIMACION DE LA TASA DE EROSION HIDRICA DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA CHAYE GRANDE DE LA SUBCUENCA DEL RIO YAPATERA". MAPA DE ERODABILIDAD DEL SUELO</p>		
DEPARTAMENTO : PIURA PROVINCIA : AYABACA DISTRITO : FRAS LOCALIDAD : CHAYE GRANDE	RESPONSABLE: YOEL ESLEITER CORDOVA ELERA ESCALA : 1:25000	LAMINA: 04 68



Figura N°12: Muestreo de suelos –Chaye Grande.



Figura N°13: Estructura del suelo –Chaye Grande.

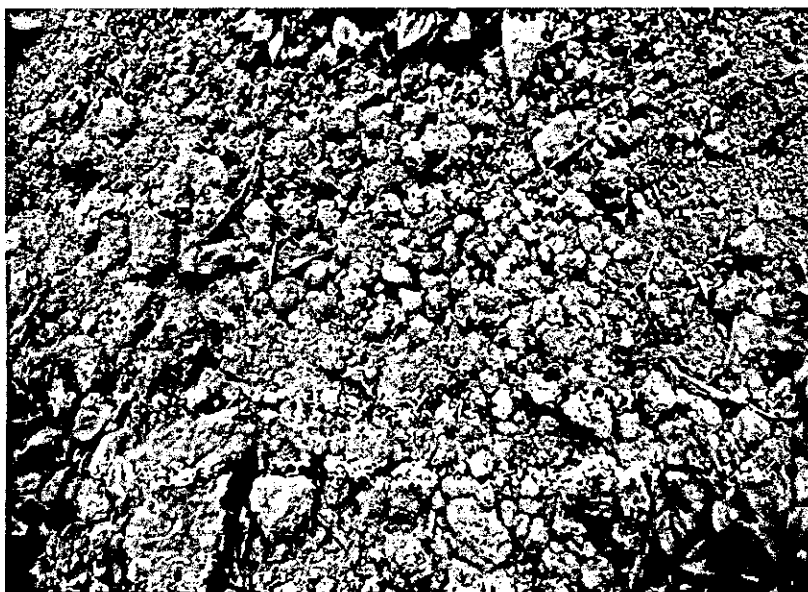


Figura N°14: Estructura del suelo –Chaye Grande.

4.1.1.3. FACTOR DE COBERTURA VEGETAL: FACTOR C

La cubierta vegetal es el elemento natural de protección del suelo frente a la fuerza erosiva de las precipitaciones, controlando no sólo la energía con la que llegan las gotas de lluvia a la superficie del suelo, sino la velocidad de la escorrentía superficial

El tipo de cobertura que se ha observado en la microcuenca es:

Cuadro N° 19: Distribución de la Cobertura Microcuenca chaye Grande.

ITEM	TIPO DE COBERTURA	AREA ha	FACTOR C
1	Cobertura inapreciable	48.499	0.45
2	Cultivos anuales y permanentes	39.485	0.25
3	pastos	134.688	0.15
4	Plantas herbáceas y matorros.	96.228	0.035
5	Matorral denso	110.83	0.001
6	Arbolado denso	411.166	0.001

Fuente: Elaboración propia.

El factor C de la USLE recoge esta influencia debida al tipo de vegetación existente, WISCHMEIER y SMITH (1978) proporcionan unas tablas de cálculo del factor C

En la microcuenca de la quebrada Chaye grande se observó los diferentes tipos de cobertura que se detallan a continuación.

CUADRO N° 20: TIPOS DE COBERTURA CASERÍO CHAYE GRANDE.

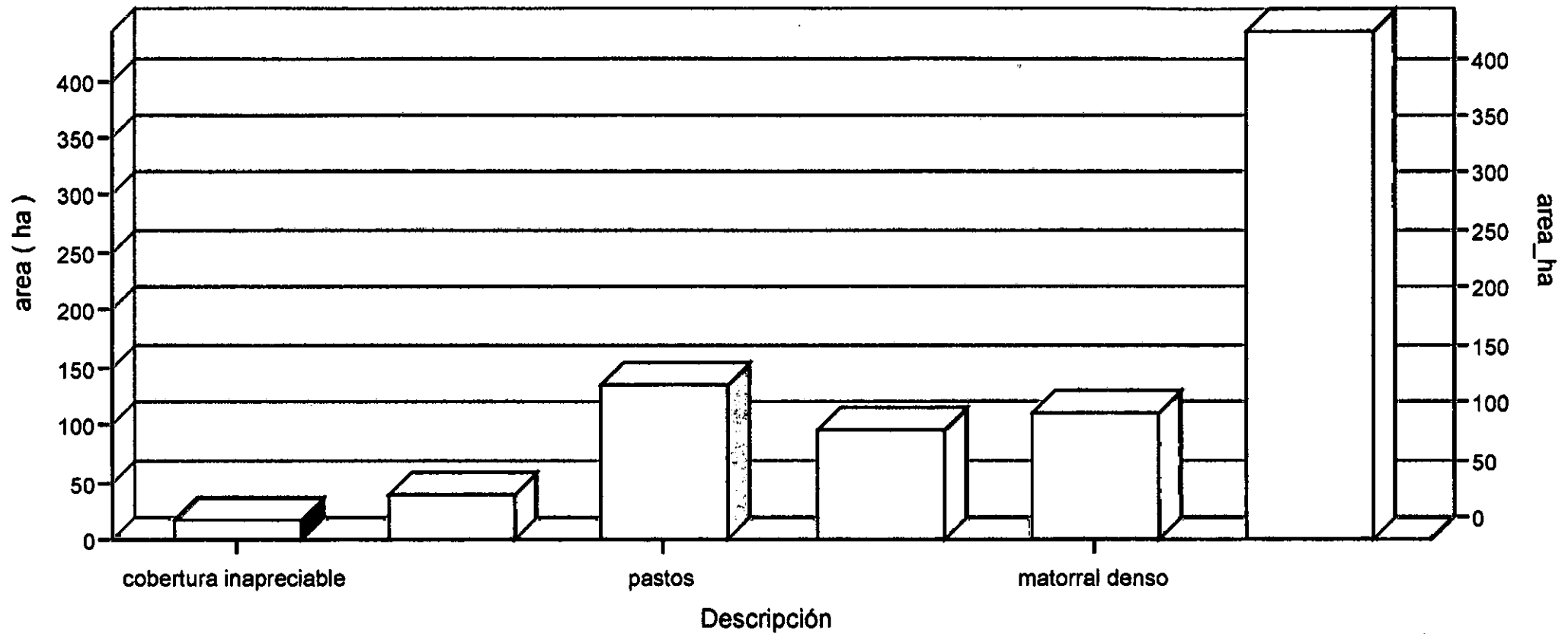
TIPO DE COBERTURA	DESCRIPCIÓN
Cultivos anuales y permanentes	Maíz, frijol, arveja, trigo, papa, etc.
pastos	Quicuyo, nudillo, grama, paja chilena, elefante criollo.
Plantas herbáceas y matojos.	Zarzamoras, zuro, santa maría, palo negro, sauce, chin chin, laurel castilla.
Matorral denso	Chilca, lanche, huabo, chirimoyo, lúcumo, guabo, aliso.
Arbolado denso	Paltaguiro, Palo blanco, puchugero, iyirque, Paltón, Ciprés, Eucalipto.

Fuente: Elaboración propia.



Figura N°15: Cultivo de frijol en el caserío Chaye Grande.

COBERTURA VEGETAL



AREA-TIPO DE COBERTURA

	16.576 cobertura inapreciable		39.485 cultivos anuales y herbaceos
	134.687 pastos		96.233 plantas herbaceas y matojos
	110.828 matorral denso		438.182 arbolado denso



Figura N°16: Matorral denso caserío Chaye Grande



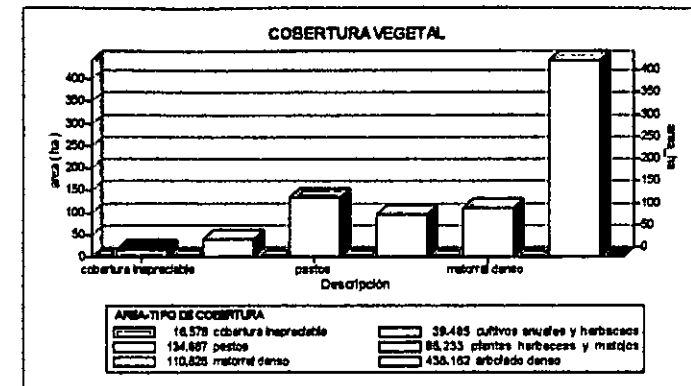
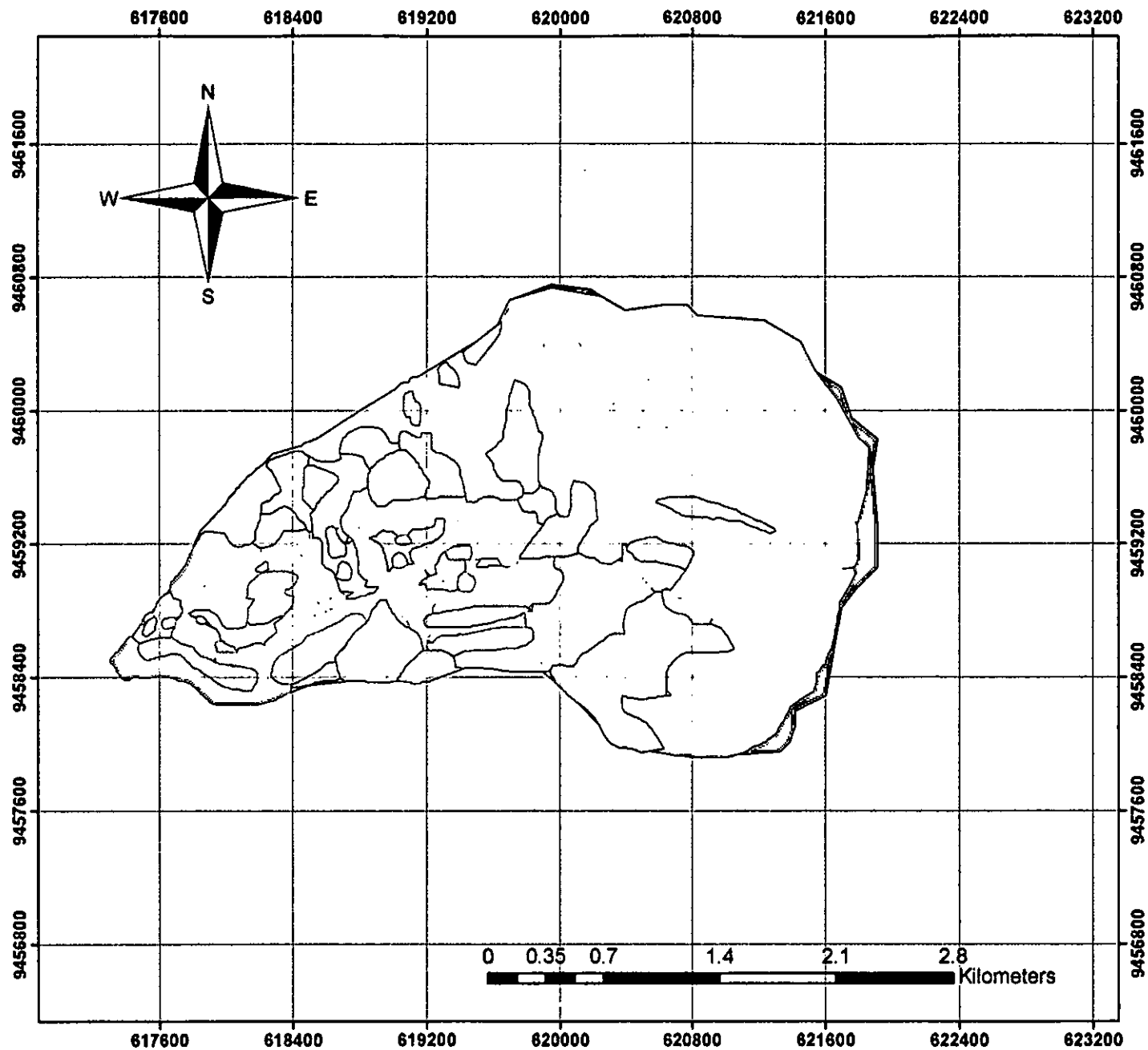
Figura N°17: Variedad de cultivos del caserío Chaye Grande.



Figura N°18: Variedad de pastos del caserío Chaye Grande.





Figura N°19: Variedad de cobertura vegetal del caserío Chaye Grande.



LEYENDA

- Pastos
- Cultivos anuales y permanentes
- Cobertura inapreciable
- Plantas herbáceas y matorros
- Matorral denso
- Arbolado denso

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA FACULTAD DE AGRONOMÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA		
PROYECTO "ESTIMACIÓN DE LA TASA DE EROSIÓN HÍDRICA DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA CHATE GRANDE DE LA SUBCUENCA DEL RÍO YAPATERAY". MAPA DE COBERTURA VEGETAL		
DEPARTAMENTO : PIURA	RESPONSABLE:	LÁMINA: 05
PROVINCIA : AYABACA	YOEL ESLETER CORDOVA ELERA	
DISTRITO : FRIAS	ESCALA:	
LOCALIDAD : CHATE GRANDE	1:25000	

4.1.1.3. FACTOR DE LONGITUD Y GRADIENTE DE LA PENDIENTE: FACTOR LS

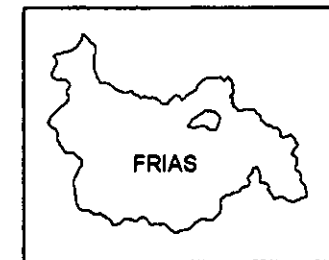


Figura N°20: Pendientes del caserío Chaye Grande parte baja.

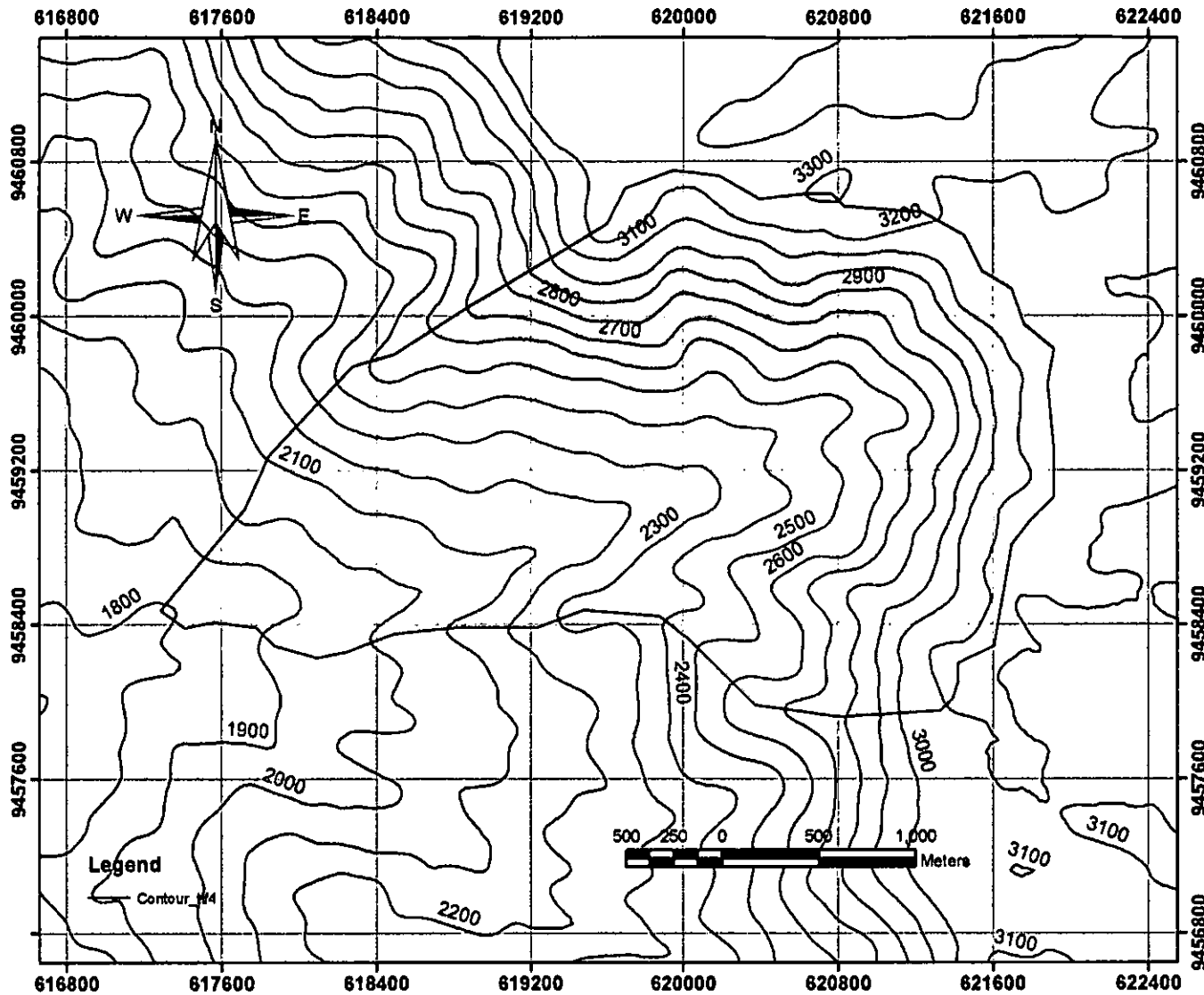



Figura N°21: Pendientes del caserío Chaye Grande parte alta.

DEPARTAMENTO DE PIURA

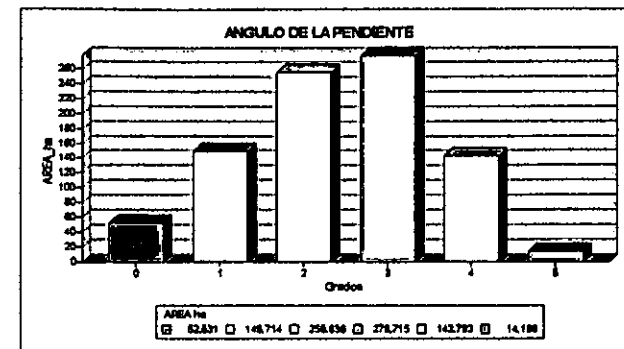
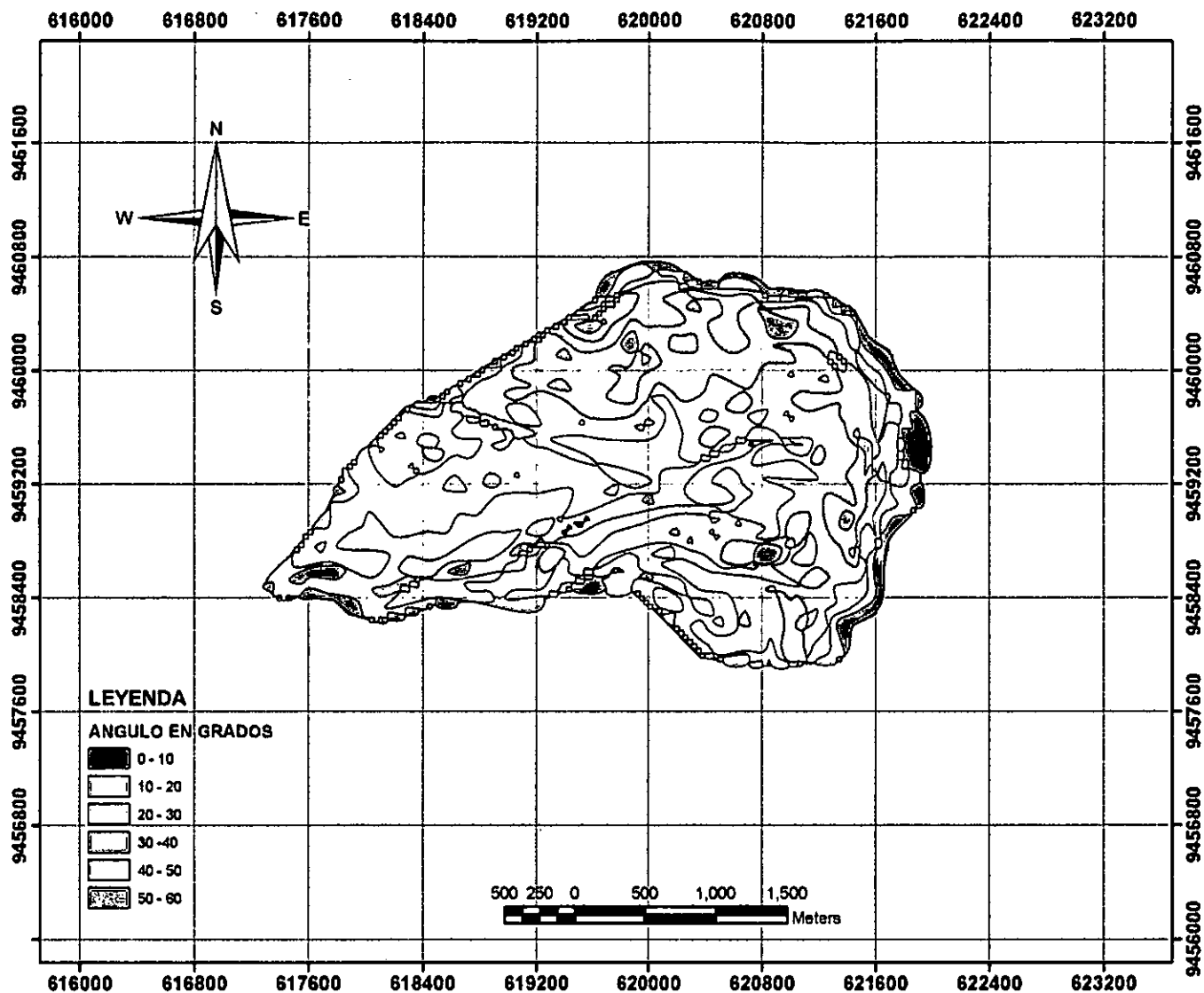




DISTRITO DE FRIAS.



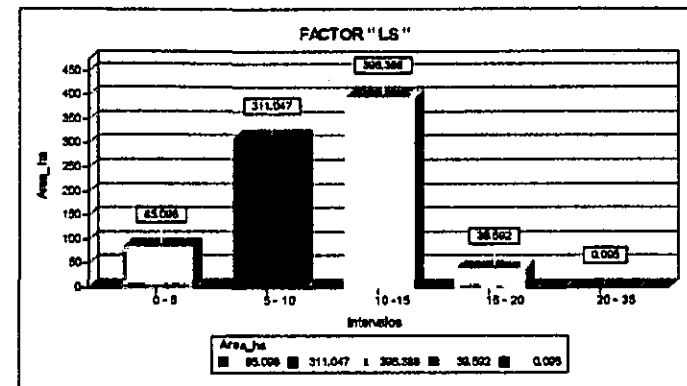
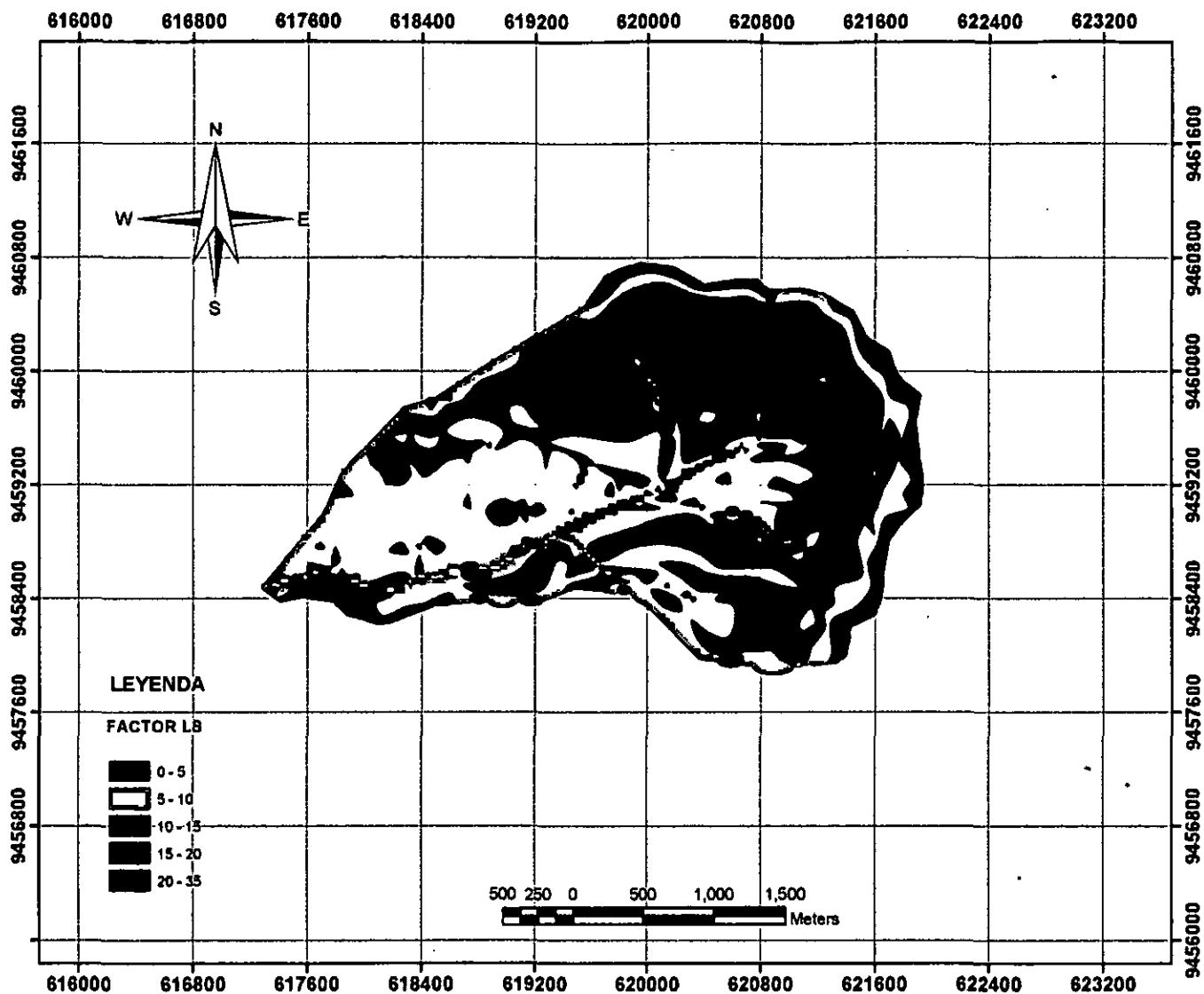
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA FACULTAD DE AGRONOMIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA		
PROYECTO "ESTIMACION DE LA TASA DE EROSION HIDRICA DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA CHAYE GRANDE DE LA SUBCUENCA DEL RIO YAPATERA". MAPA DE ELEVACIONES		
DEPARTAMENTO : PIURA PROVINCIA : AYABACA DISTRITO : FRIAS LOCALIDAD : CHAYE GRANDE	RESPONSABLE: YDEL ESLEITER CORDOVA ELERA ESCALA : 1:25000	LAMINA: 06


ANGULO DE LA PENDIENTE



 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA FACULTAD DE AGRONOMIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA</p> 		
<p>PROYECTO "ESTIMACION DE LA TASA DE EROSION HIDRICA DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA CHAYE GRANDE DE LA SUBCUENCA DEL RIO YAPATERA". MAPA-ANGULO DE LA PENDIENTE.</p>		
DEPARTAMENTO: PIURA PROVINCIA : AYABACA DISTRITO : FRIAS LOCALIDAD : CHAYE GRANDE	RESPONSABLE: YOEL ESLEITER CORDOVA ELERA ESCALA: 1:25000	LAMINA: 07

FACTORES



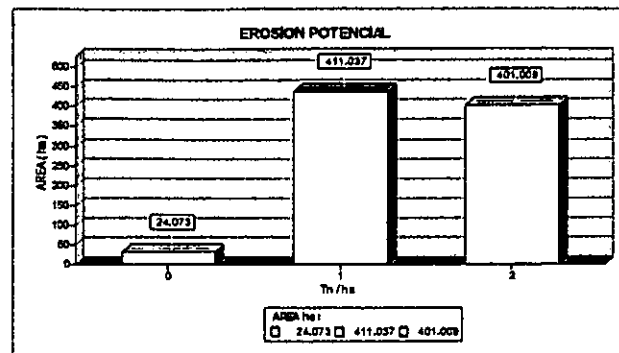
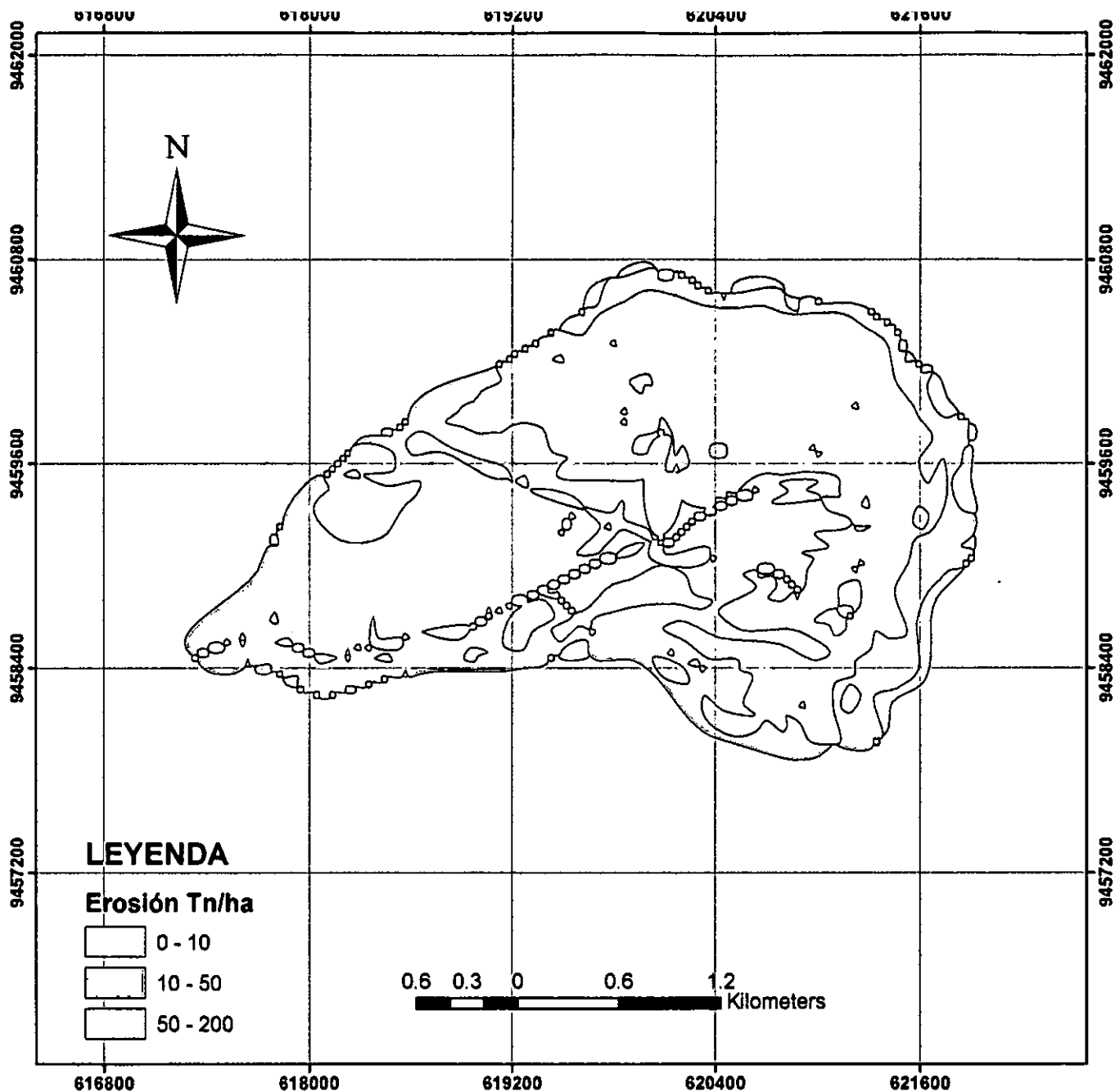
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA FACULTAD DE AGRONOMIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA		
PROYECTO "ESTIMACION DE LA TASA DE EROSION HIDRICA DE LA MICROCUENCA DE LA QUERRADA CHAYE GRANDE DE LA SUBCUENCA DEL RIO YAPATERA". MAPA DE FACTOR LS		
DEPARTAMENTO : PIURA PROVINCIA : AYABACA DISTRITO : PRIAS LOCALIDAD : CHAYE GRANDE	RESPONSABLE: YOEL ESLEITER CORDOVA ELERA ESCALA: 1:25000	LAMINA: 08

4.1.1.4. FACTOR DE PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS. (Factor P).

El valor que se asignó para prácticas de conservación de suelos es 1 valor obtenido del cuadro n° 8 (Valores para Prácticas conservacionistas, el Factor P.), por lo que en la zona del proyecto no se realizan prácticas de conservación de suelos.



Figura N°22: caserío Chaye Grande - Frías.




LEYENDA

EROSION POTENCIAL

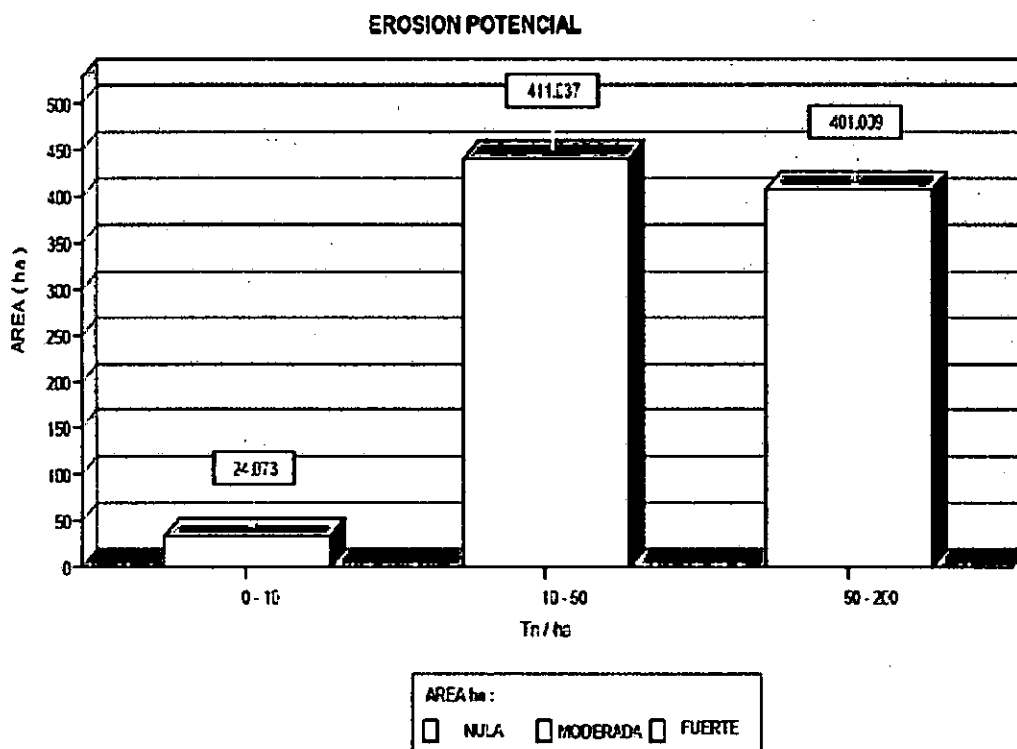
- NULA O LEVE
- MODERADA
- FUERTE

Classification Statistics

Count:	8789
Minimum:	0.705675602
Maximum:	182.3185577
Sum:	409,590.7458
Mean:	46.60265625
Standard Deviation:	18.23553088

 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA FACULTAD DE AGRONOMIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA</p>		
<p>PROYECTO "ESTIMACION DE LA TASA DE EROSION HIDRICA DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA CHATE GRANDE DE LA SUBCUENCA DEL RIO YAPATERA". MAPA DE EROSION POTENCIAL.</p>		
DEPARTAMENTO: PIURA PROVINCIA: AYABACA DISTRITO: FRIAS LOCALIDAD: CHATE GRANDE	RESPONSABLE: YOEL ESLEITER CORDOVA ELERA ESCALA: 1:25000	LAMINA: 09

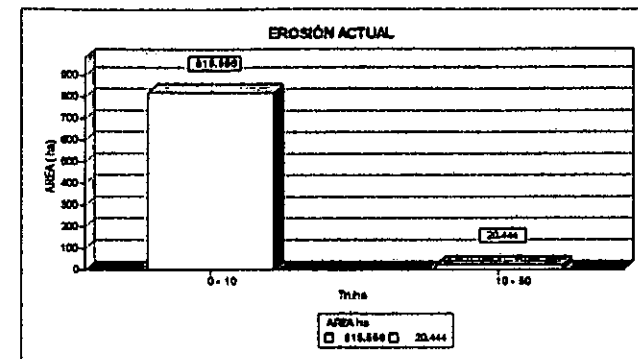
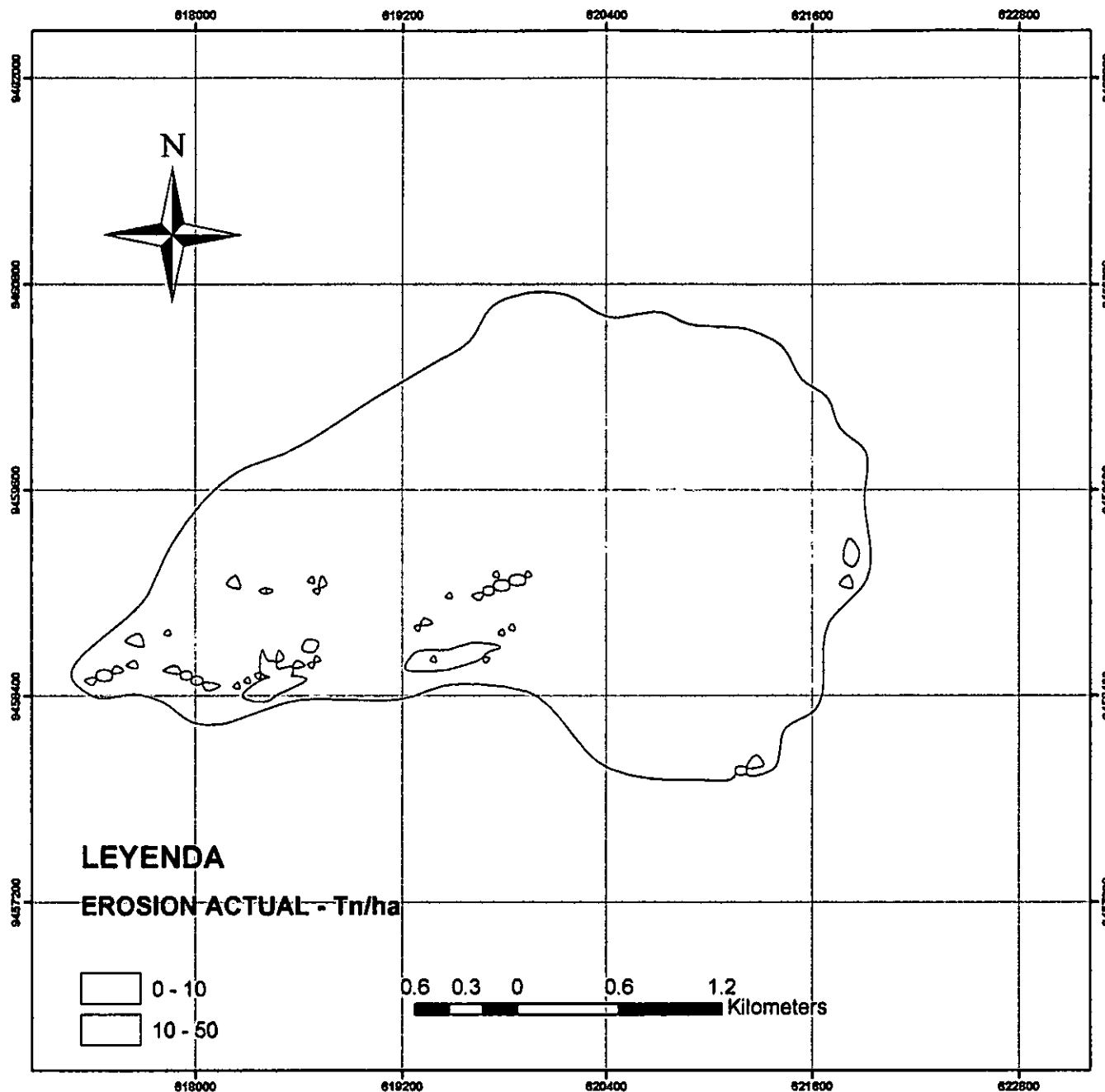
Si observamos el mapa de los niveles de erosión potencial detectamos que gran parte de la cuenca presenta riesgo potencial de erosión.



Esto es debido sobre todo a sus altas pendientes y a los suelos poco evolucionados existentes en la zona.

El área de superficie que podría verse afectada según el nivel de erosión es de 401.009 ha (erosión fuerte). Es importante destacar que la mayor parte del área de la microcuenca está *potencialmente expuesta a una erosión hídrica importante (de moderada a fuerte)*. Mientras que solamente el 24.073 ha de la superficie no corre ningún riesgo de erosión (erosión leve o nula).

Como era de esperar los territorios localizados en la parte más alta de la cuenca son los más afectados ya que es en esta zona donde las precipitaciones son mayores al igual que las pendientes. Por el contrario son las zonas bajas las que presentan una erosión potencial más baja. La zona media de la cuenca aunque presenta pendientes más bajas que la cabecera presenta un tipo de suelo más sensible a la erosión, por lo que también se ve en gran medida afectada.



LEYENDA

EROSION ACTUAL - Tn/ha

	NULA O LEVE.
	MODERADA

Classification Statistics

Count:	8740
Minimum:	0.002184827
Maximum:	45.57963943
Sum:	13,160.5948
Mean:	1.505788879
Standard Deviation:	2.960591138



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE AGRONOMIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA



PROYECTO "ESTIMACION DE LA TASA DE EROSION HIDRICA DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA CHAYE GRANDE DE LA SUBCUENCA DEL RIO YAPATERA".
MAPA DE EROSION ACTUAL

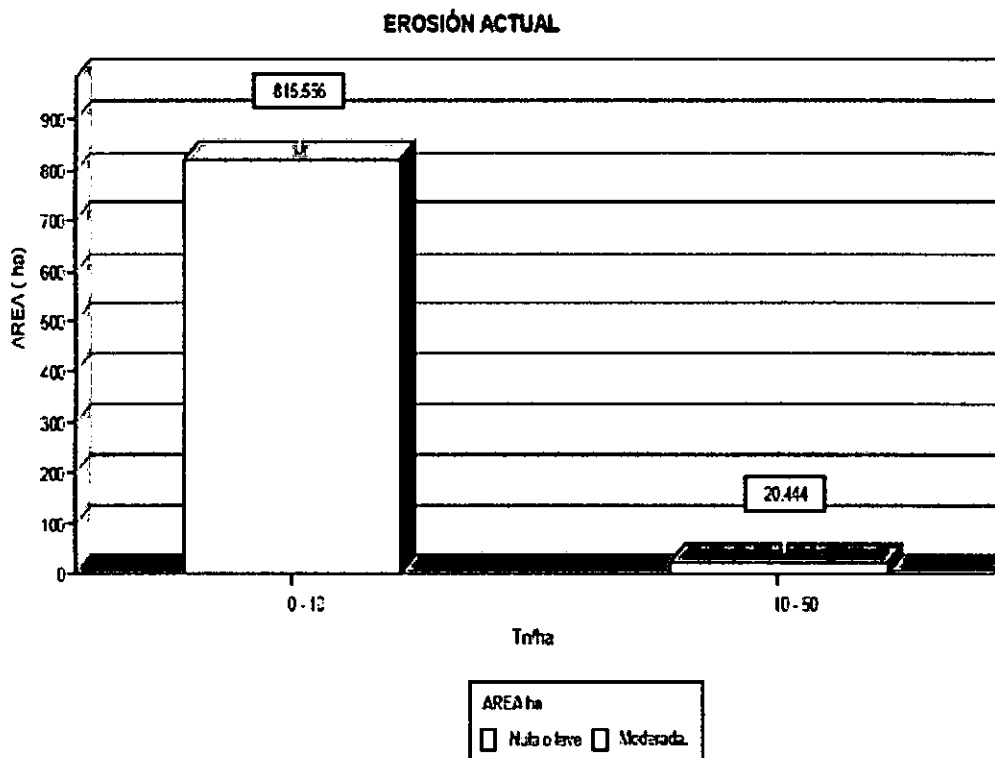
DEPARTAMENTO : PIURA
PROVINCIA : AYABACA
DISTRITO : FRIAS

RESPONSABLE:
YOEL ESLEITER CORDOVA ELERA
ESCALA:

LAMINA:

10

El mapa de niveles de erosión actual vemos que presenta diferencias muy notables respecto al mapa de erosión potencial. La erosión actual es mucho menor en toda la cuenca. Lo que corrobora que la cobertura vegetal realiza un papel fundamental como protector frente a la erosión.

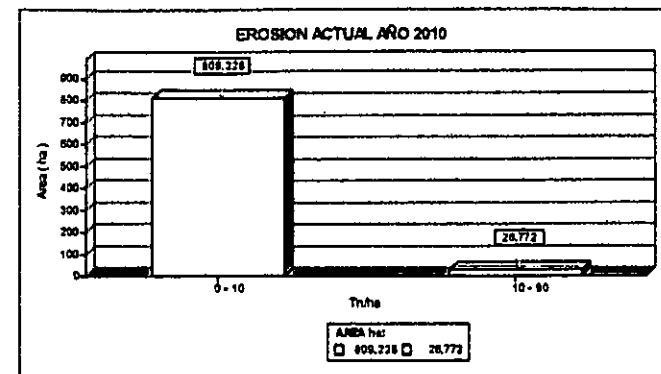
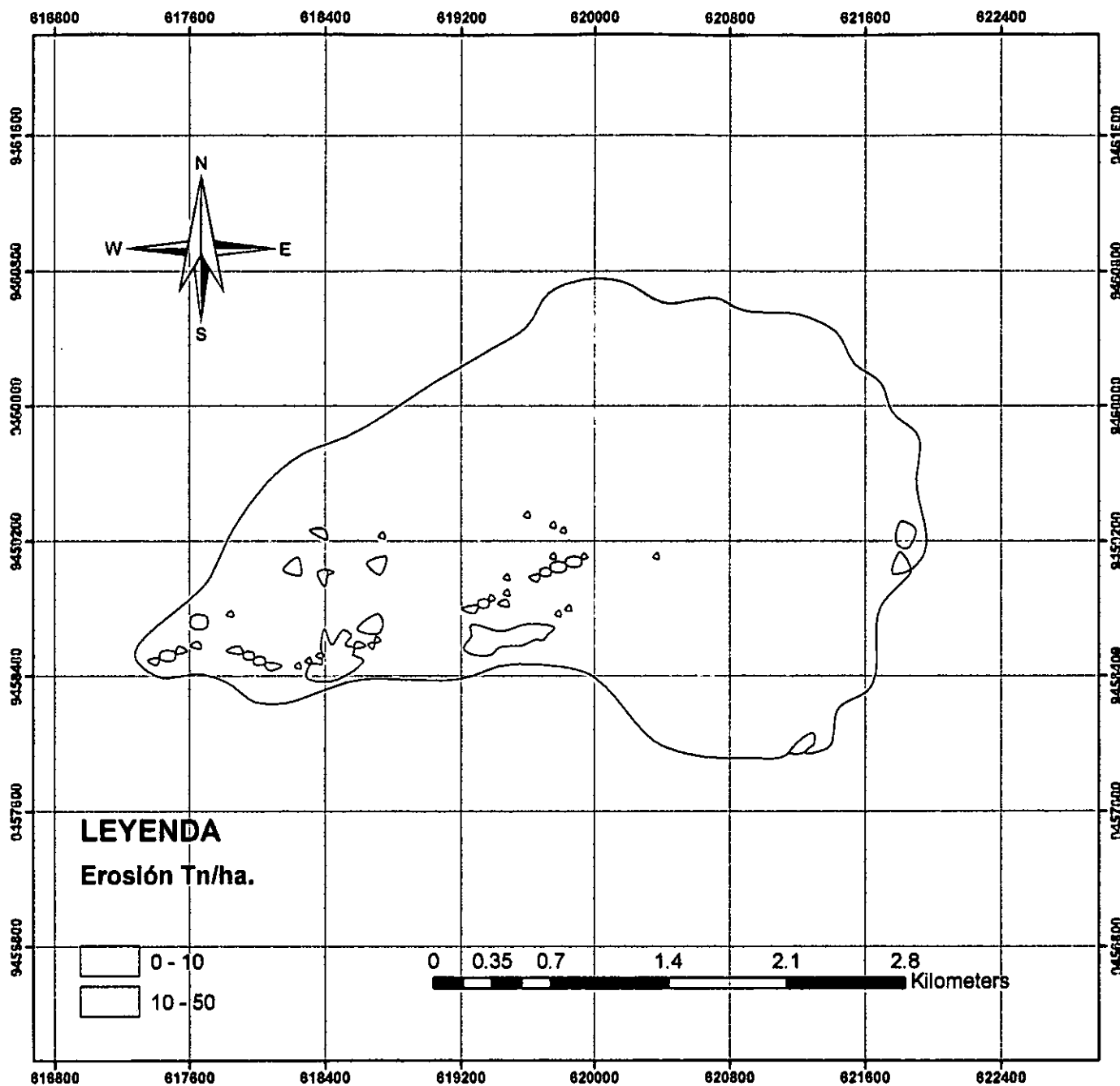


En este caso 20.444 ha (2.5%) de la superficie de la microcuenca presenta una erosión moderada (por encima de las 10 t/ha*año) erosión que según nuestro estudio se debería controlar. Y prácticamente el 97.5% de la superficie está libre de erosión (erosión leve o nula). Cabe destacar que casi todas las zonas de la erosión actual presentan algún grado de erosión.

En el mapa de la erosión actual observamos que las zonas de la parte alta de la cuenca que presentaban altos niveles de erosión potencial al estar destinados a uso forestal (en su mayoría bosques y matorral) la erosión real no es muy significativa.




Destacan manchas grandes en la parte alta, media y baja de la microcuenca que presentan erosión moderada debida a la escasa cobertura que existe.

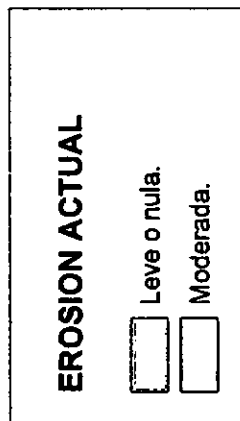
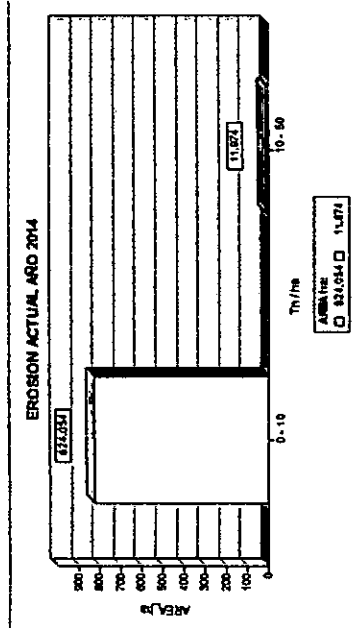
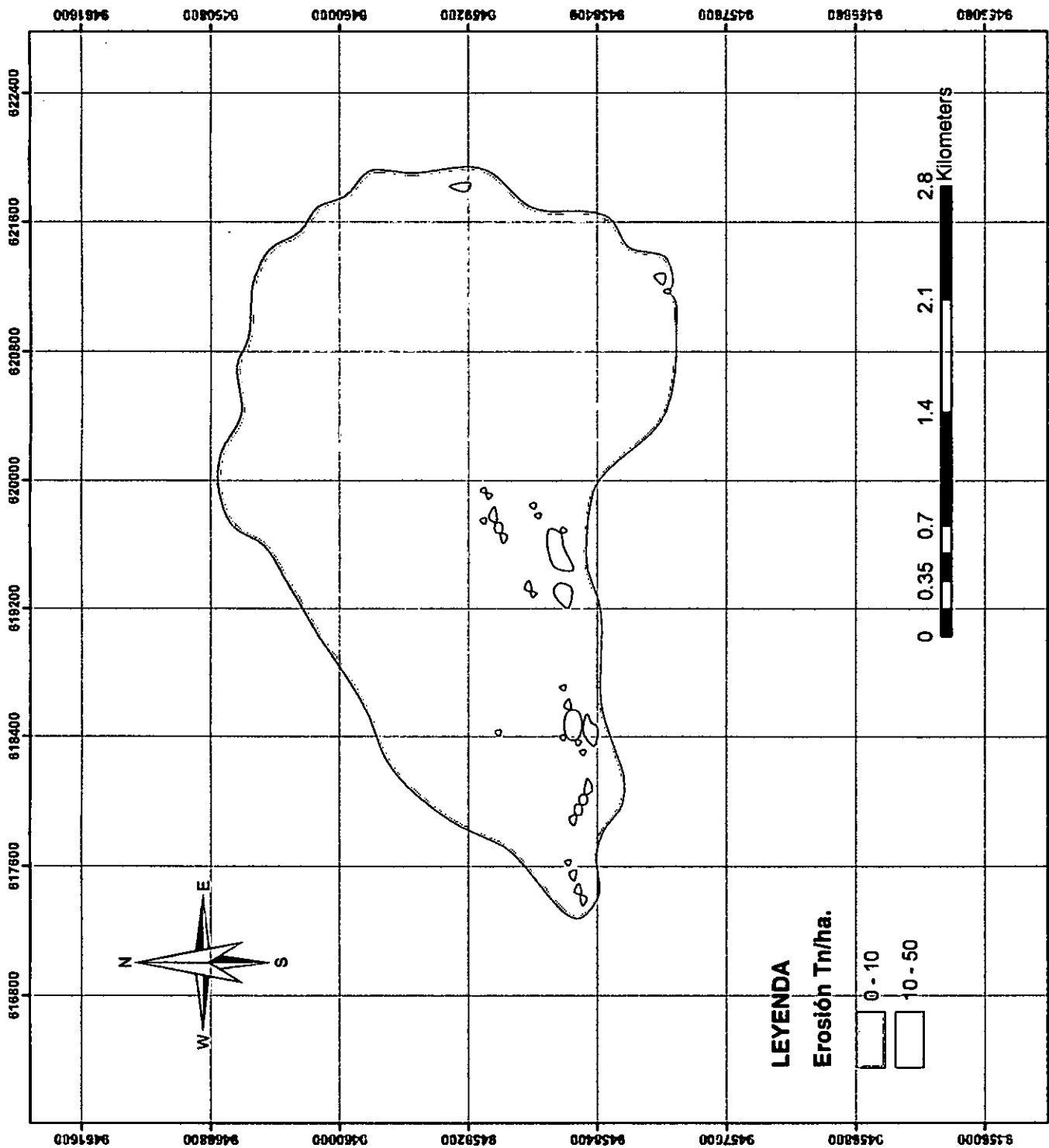
El programa ArcGIS con su herramienta statistics nos determina un valor promedio anual de 13,160.59 Ton/año. que aporta la microcuenca por año. Es decir un valor promedio específico de 15.74 Tn/ha.año. Esta información puede ser comparada con el estudio “Plan Regional de Reforestación y Conservación de Suelos en las Cuencas Hidrográficas de la Región Piura”-2008, que utilizo el modelo SWAT para estimar la producción de sedimento que producen las cuencas, obteniendo valores para la Subcuenca Yapatera un valor de 14.106 Tn/ha.año valor que se aproxima al resultado obtenido en nuestro estudio.



EROSION ACTUAL.

- NULA O LEVE
- MODERADA.

  		
UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA FACULTAD DE AGRONOMIA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA		
PROYECTO "ESTIMACION DE LA TASA DE EROSION HIDRICA DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA CHAYE GRANDE DE LA SUBCUENCA DEL RIO YAPATERA". EROSION ACTUAL AÑO 2010		
DEPARTAMENTO: PIURA PROVINCIA: AYABACA DISTRITO: FRIAS LOCALIDAD: CHAYE GRANDE	RESPONSABLE: YOTEL ESLETER CORDOYA ELERA ESCALA: 1:250000	LAMINA: <div style="font-size: 2em; font-weight: bold;">11</div>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE AGRONOMIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA



PROYECTO "ESTIMACION DE LA TASA DE EROSION HIDRICA DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA CHATEGRAUPE DE LA JURISDICCION DEL RIO YAPATICA".
EROSION ACTUAL AÑO 2014

RESPONSABLE:
YOCEL ELIETEN CORDOVA ELIDA
ESCALA:
1:50000

LAMINA:

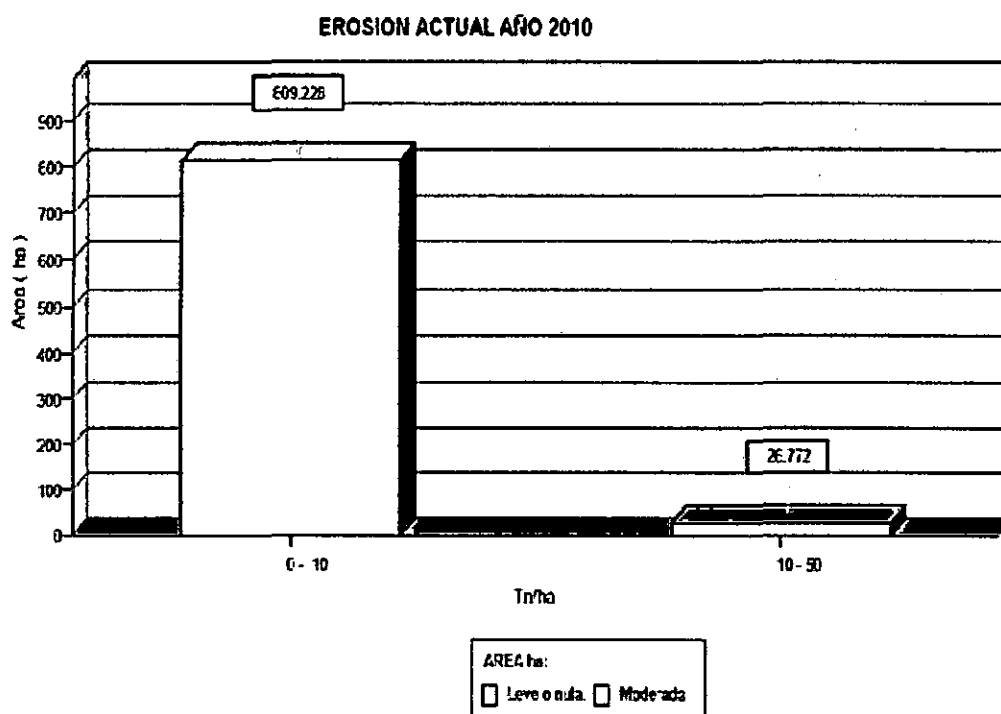
12

Si nos fijamos en el mapa de niveles de erosión realizado para el año 2014, observamos que al igual que ocurría con el del año 2010 los resultados son mucho menores que los obtenidos en el cálculo de la erosión potencial.

Sin embargo a simple vista es muy semejante al mapa de erosión del año 2010.

Las diferencias que puedan darse en los mapas de erosión generados para los años 2010 y 2014 van a ir sujetos a los cambios de uso de suelo o de cobertura vegetal que hayan tenido lugar en la cuenca.

Como ya vimos anteriormente los usos del suelo prácticamente no han variado durante esos cinco años, lo que hace que hayamos obtenido resultados muy similares en ambos casos.



Aun así si observamos el gráfico de niveles erosivos para este año 2010. Esta vez encontramos que 809.228 ha. de la superficie poseen erosión leve. Mientras que solamente un 26.772 ha. de la superficie presenta erosión moderada (por encima de las 10 t/ha.año) erosión que según nuestro estudio se debería controlar.

Sin embargo seguimos observando que las zonas que presentaban una cobertura de escasa vegetación: una situada en la cabecera de la cuenca al igual que las zonas más próximas al cauce del río en la zona media de la cuenca presentan niveles moderados de erosión.

CAPITULO V.

5.1. CONCLUSIONES:

- Aplicando la Ecuación universal de pérdida de suelo (USLE), para la obtención de la tasa de erosión hídrica actual, nos indica que el 97.5%(815.56 ha.) del área de la microcuenca, cuenta con erosión de nula a leve ($0 - 10 \text{ Tn./ha}\cdot\text{año}$) y el 2.5% (20.44 ha.) de la superficie está clasificada con erosión moderada ($10 - 50 \text{ Tn/ha}\cdot\text{año}$) de acuerdo a la clasificación de erosión FAO.
- La tasa de erosión hídrica potencial, nos indica que el 2.88%(24.07 ha.) del área de la microcuenca, cuenta con erosión de nula a leve ($0 - 10 \text{ Tn./ha}\cdot\text{año}$), el 49.16%(411.037 ha.) está clasificada como erosión moderada ($10 - 50 \text{ tn/ha}\cdot\text{año}$) y el 47.96%(401.01 ha.) del área de la superficie considerada fuerte ($50 - 200 \text{ tn/ha}\cdot\text{año}$) de acuerdo a la clasificación de erosión FAO.
- El índice de erodabilidad del suelo de la microcuenca de la quebrada Chaye Grande varia de $0.05 - 0.11 \text{ Ton}\cdot\text{h/Mj}\cdot\text{mm}$.
- La aplicación de sistemas de información geográfica nos permite obtener en forma global una visión integral sobre el proceso de erosión hídrica en la zona. Se presenta como una herramienta de gran utilidad para la ordenación territorial de la microcuenca, ya que se puede detectar las zonas que son más sensibles y los usos del suelo que ayudan a controlar este riesgo y proponer medidas de conservación que nos permitirán reducir la erosión hídrica.
- Se concluye que la eliminación de cobertura vegetal vulnera la estabilidad de los suelos ante la erosión hídrica por lo que se demuestra la hipótesis planteada.

- Se determinó que la erosión promedio anual de la microcuenca de la quebrada Chaye Grande es de 13,160.59 Tn/año, es decir un valor promedio específico de 15,74 Tn/ha.año valor que puede se aproxima al obtenido por el “Plan Regional de Reforestación y Conservación de Suelos en las Cuencas Hidrográficas de la Región Piura-2008” con un valor de 14.106 Tn/ha.año para la parte alta de la Subcuenca Yapatera.
- Se concluye que la lluvia es el principal agente erosivo de la erosión superficial del suelo.
- Se elaboró un mapa de erosión hídrica actual y potencial de la zona en estudio en la cual se han clasificado los rangos de erosión según la FAO que nos permitirán ver las zonas más vulnerables a la erosión.

5.2. RECOMENDACIONES:

- Se debe continuar con la investigación en erosión de suelos aplicando metodologías más exactas obteniendo resultados más reales con la finalidad de discutir los resultados obtenidos; se recomienda calibrar el modelo con la medición de sedimentos en la quebrada Chaye Grande antes de la confluencia con la quebrada Liza en los meses de Diciembre- abril, periodo en los cuales se generan las mayores precipitaciones del año generando mayor erosión del suelo con el fin de comparar resultados y llegar a una tasa de erosión de la microcuenca más exacta.
- Se recomienda realizar las actividades que se detallan a continuación y aplicarlas con más énfasis en las zonas que están expuestas a niveles de erosión mayor.
- Realizar un programa de reforestación especialmente orientado a proteger las cabeceras de las cuencas; este programa debe concientizar a la población para que

valore el recurso suelo y conozca las consecuencias que se generan al no realizar prácticas de conservación.

- Se recomienda extender lo más posible las especies arbóreas y arbustivas existentes en la región, así como regenerar o implantar vegetación herbácea en las áreas con erosión moderada para reducir y controlar los niveles de erosión.
- Utilizar todo instrumento legal, así como realizar coordinaciones con las instituciones comprometidas con los recursos naturales, a fin de cumplir con un papel más protagónico como una garantía para detener la degradación de los bosques y biodiversidad de la región.
- Promover el uso racional del recurso energético o leña, fomentando el uso de las llamadas “cocinas mejoradas”, ya que estas permiten aprovechar mejor la energía y se orientan a disminuir la presión a los bosques por la demanda de leña.
- Construcción de barrera de bosques.
- Se recomienda sistemas de riego en base a surcos en contorno y cultivos en faja, estas son prácticas de uso generalizado.
- Se debe tener en cuenta la resiembra de pastos naturales, siembra de pastos exóticos, la repoblación con pasturas y/o arbustos de la zona y Rotación de áreas de pastoreo.
- Utilización de policultivos, de tal forma que cubran gran parte del suelo y que aprovechen mejor los recursos agua, suelo y nutrientes.
- Se recomienda la rotación de cultivos en el área de estudio.

- Instalación de zanjas de infiltración, esta práctica es recomendable en zonas de forestación y reforestación, más que en zonas de pastos y cultivos, generalmente estas obras están asociadas al control de cárcavas.
- El apoyo de las instituciones relacionadas con el recurso suelo y agua (Junta de usuarios de riego, comisiones de regantes, etc.); para que realicen capacitaciones a los usuarios para la protección, reforestación y cuidado de bosques.
- Analizar las diferentes alternativas de solución para el control, regulación, estabilización y manejo de erosión de suelos que nos permitan generar un buen diseño de obras de estabilización para reducir los niveles de erosión del suelo.
- Tener en cuenta las regulaciones ambientales y otras normas legales y el impacto ambiental sobre la fauna, flora y aire como también los daños económicos que se generan en el diseño de una obra de control de erosión.

CAPITULO VI

6.1. BIBLIOGRAFÍA

BECERRA MORENO, A. 2005. (1) Escorrentía, erosión y conservación de suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. México. 375p.

CAYO LEONIDAS RAMOS TAIPE, 2001(2): Modelamiento Ambiental para análisis de susceptibilidad erosiva en la cuenca media y alta del río cañete y determinación del mapa de erosión.

DESMET, P.J.; GOVERS, G. 1996 .(3) A GIS-procedure for the automated calculation of the USLE LS-factor on topographically complex landscape units. J. Soil and Water Conservation, 51: 427-433

ELLISON, W. D. 1947. (4) :Soil Erosion. Soil Sci. Soc. Am Proc., Madison, 12: 479-84.

FOURNIER, F. (1972) (5): "Soil Conservation". Nature and Environment Series N° 5, Council of Europe, Strasbourg.

FOSTER, (1995) (6) : «Estimating erosion and sediment yield of field-sized areas. Trans. American Society of Agricultural Engineers 24 (5): 1253-1262.

FLORES J, F. 1993.(7) Evaluación de impactos de la erosión hídrica durante el proceso de arrime con motogrua. Tesis lic. DICIFO-UACH, Chapingo. México. 112p.

GANDÍA, S; MELIÁ, J. 1993, (8). La teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. Climatología y desertificación. España. 189-192 Pp.

GOBIERNO REGIONAL DE PIURA (2013) (9). Batimetría del Embalse Poechos. Proyecto Especial Chira-Piura. Dirección de Operación y Mantenimiento. Piura-Perú.

GOBIERNO REGIONAL DE PIURA (2008), (10): Plan Regional de Reforestación y Conservación de Suelos en las cuencas Hidrográficas de la Región Piura.

GOBIERNO REGIONAL PIURA (2012); (11) : ZONIFICACIÓN ECOLÓGICA ECONÓMICA (ZEE) DE LA REGIÓN PIURA.

HUDSON, N. 2006.(12): Conservación del suelo. Ed. Reverté. España.

ICONA (1988), (13): Mapas de estados erosivos de la Cuenca Hidrográfica del Segura, Madrid.

INRENA. (1996), (14). Programa Nacional de Fortalecimiento de Capacidades para manejar el impacto del Cambio Climático y la Contaminación del Aire (PROCLIM).

JAIME SUAREZ DÍAS 2001, (15); CONTROL DE EROSIÓN EN ZONAS TROPICALES.

JOSE CEGARRA SANCHEZ,(16): INTRODUCCIÓN A LA METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA. Ediciones Díaz de Santos, S.A.MADRID.

KIRKBY. (1994). (17):"Summary report on provisional RDI erosion risk map for France". European Soil Bureau.

K. RENARD Y J. FREIMUND (1994), (18) Journal of Hydrology 157 (1994).

LAFLEN, J. M. ET AL. (2003), (19): "Pioneering soil erosion prediction: the USLE story", World Association of Soil and Water Conservation Special Publication, nº 1.

MCCOOL, D.K. ET AL. 1989 (20) :. Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation. Transactions of ASAE 32: 1571-1576.

MORGAN, J. 1997, (21) : Erosión y conservación del suelo. 2a ed. Madrid, España.

MOROCHO, F. (2004), (22). Estudio "Sedimentación del Reservorio Poechos y Recuperación de Volumen de Agua de Regulación para Sistema Chira-Piura". Dirección de Estudios del Proyecto Especial Chira-Piura. Piura, Perú.

MONTERO TORRES MARIO, 1975, (23): “Recuperabilidad de los suelos salinos misceláneos de la zona de Curvan, Tambogrande, Piura”. Proyecto de drenaje San Lorenzo – Piura.

MUSGRAVE, G. W., 1947, (24): «The quantitative evaluation of factors in water erosion A first approximation»). Soil and Water Conservation 2: 133-138.

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE FRIAS (2005), (25): PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL DISTRITO DE FRIAS.

PROYECTO ESPECIAL CHIRA-PIURA (2002), (26): Plan de Gestión de la Oferta de Agua en las Cuencas del Ámbito del Proyecto Especial Chira-Piura. Volumen I, Tomo 1.2. Plan de Gestión de la Oferta de Agua. Asesores Técnicos Asociados S.A. Lima-Perú.

PLAN DE GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA CUENCA CHIRA PIURA , (27); Diagnóstico de la Gestión de los Recursos Hídricos de la Cuenca Chira-Piura. Consultor INCLAM ;2012.

RÍOS VÁZQUEZ JAVIER .CHAPINGO, MÉXICO, MAYO DE 2012, (28):
“CÁLCULO DE PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO AHUEHUEPAN, TAXCO GUERRERO”
TESIS PROFESIONAL

ROOSE E. 1977, (29) : Erosion et Ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt années de mesure en parcelles expérimentales. París, Francia: ORSTOM.

RODAS M. ABRAHAM (30); Determinación de la conductividad hidráulica en muestras de suelo inalteradas; Universidad Nacional Agraria – La Molina.

SOLUCIONES PRÁCTICAS-ITDG; 2008, (31).Gestión de cuencas para enfrentar el cambio climático y el Fenómeno El Niño /Editores: Juan Torres, Anelí Gómez, Miguel

Berrú; Responsables de la sistematización del proyecto: Ana Cecilia Bermeo, Renán Alegre, Pedro Ferradas, Alcides Vilela; Revisión: Daniel Rodríguez. — Lima:

SUBPROYECTO VA-04 (32); Evaluación de la vulnerabilidad física natural futura y medidas d adaptación en áreas de interés en la cuenca del rio Piura.

SMITH, D. D., 1958 (33): «Faccers affecting rainfall erosion and theie evaluation». Im. Assoc. Scient. Hydrol. Pub., 43: 97-107.

WISCHMEIER, W. y SMITH, D. 1978 , (34): “Predicting rainfall erosion losses. A guide toconservation planning.” U.S. Department of Agriculture. Agricultural Research Service Handbook 537. 58 pp Handbook 537. Washington, DC.

ZABALA, M. A.; MARELLI H. y J. SANABRIA. 2003, (35) “Caracterización del Potencial Erosivo de Suelos del Centro Sudeste de la Provincia de Córdoba”. INTA. EEACórdoba.

ZING, A. W., 1940, (36) : «(Degree and lengrh of land slope as ir affeccs soil loss in runoff». Aric. Engng.

CAPITULO VII

6.2. ANEXOS

ESTUDIO DE SUELOS ANALISIS DE SUELOS.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Departamento Académico de Suelos

ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE : JOEL CORDOVA E.
FECHA : 28 de octubre del 2014.

MUESTRAS	DETERMINACIONES				
	% Arena	% Limo	% Arcilla	Clase Textural	M. O (%)
01	59	27	14	Franco arenoso	0.87
02	57	23	20	Franco arcillo arenoso	0.30
04	87	07	06	Arenoso franco	0.40
11	94	04	02	Arena	0.10
13	75	17	08	Franco arenoso	0.14
19	85	07	08	Arenoso franco	0.12
21	41	29	30	Franco arcilloso	0.27
22	37	31	32	Franco arcilloso	0.42
26	54	20	26	Franco arcillo arenoso	0.39
27	62	17	21	Franco arcillo arenoso	0.69

Nota : Muestra proporcionada por el solicitante.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
Facultad de Agronomía

Ing. Waldo A. Fariñas Núñez
Prof. Principal Opta. Suelos



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Departamento Académico de Suelos

ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE : JOEL CORDOVA E.
FECHA : 03 de noviembre del 2014.

MUESTRAS	DETERMINACIONES				
	% Arena	% Limo	% Arcilla	Clase Textural	M. O (%)
03	59	18	23	Franco arcillo arenoso	0.30
05	92	05	03	Arenoso	0.19
06	62	24	14	Franco arenoso	0.17
07	30	34	36	Franco arcilloso	0.40
08	34	33	33	Franco arenoso	0.38
09	57	27	16	Franco arenoso	0.20
12	56	19	25	Franco arcillo arenoso	0.27
14	93	04	03	Arenoso	0.10
15	87	08	05	Arenoso franco	0.11
29	97	02	01	Arenoso	0.10

Nota : Muestra proporcionada por el solicitante.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
Facultad de Agronomía

Ing. Waldo A. Farías Nuñez
Prof. Principal Opt. Suelos

PRUEBA DE INFILTRACION

CAMPO: Chaye Grande

OBSERVADOR: YOEL ESLEITER CORDOVA ELERA

FECHA: 02/07/2015

Nº DE PRUEBA: 02

METODO: DEL CILINDRO INFILTROMETRO

TEXTURA: Franco arenoso

MUESTRA Nº: 20

TIEMPO (min)			LECTURA	LAMINA INFILTRADA		VEL. DE INFILTRACION (cm/h)	
HORA	PARCIAL	ACUMULADO	(cm)	PARCIAL	ACUMULADA	INSTANTANEA	ACUMULADA
8.11	0	0	21	0	0	0	
8.11	1	1	19.5	1.5	1.5	90	90
8.12	1	2	18.3	1.2	2.7	72	81
8.13	1	3	18/21/20.3	1	3.7	60	74
8.14	1	4	19.5	0.8	4.5	48	67.5
8.15	1	5	18.5	1	5.5	60	66
8.16	1	6	18/21/20.6	0.9	6.4	54	64
8.17	1	7	20	0.6	7	36	60.0
8.18	3	10	18/21/20.5	2.5	9.5	50	57
8.21	3	13	18.2	2.3	11.8	46	54.5
8.24	3	16	18/21/19	2.2	14	44	52.5
8.27	5	21	18/21/18.6	3.4	17.4	40.8	49.71
8.32	5	26	18/21/18.5	3	20.4	36	47.08
8.37	5	31	18/21/18.4	3.1	23.5	37.2	45.48
8.42	10	41	18/21.5/18/21.5/19.6	5.8	29.3	34.8	42.88
8.52	10	51	17.6/21/18/21.5/21	5.5	34.8	33	40.94
9.02	10	61	18/21/19.7	4.3	39.1	25.8	38.46
9.12	20	81	18/21/17.8/21.5/18/21.5/20.4	9.5	48.6	28.5	36.00
9.32							

VELOCIDAD DE INFILTRACION:

tiempo	I	log T =X	log (Icum) = Y	X.Y	X^2	y^2
ACUMULADO(min)	acumulada(cm/h)					
1	90.00	0.00	1.95	0.00	0.00	3.8191
2	81.00	0.30	1.91	0.57	0.09	3.6423
3	74.00	0.48	1.87	0.89	0.23	3.4940
4	67.50	0.60	1.83	1.10	0.36	3.3464
5	66.00	0.70	1.82	1.27	0.49	3.3107
6	64.00	0.78	1.81	1.41	0.61	3.2623
7	60.00	0.85	1.78	1.50	0.71	3.1618
10	57.00	1.00	1.76	1.76	1.00	3.0831
13	54.46	1.11	1.74	1.93	1.24	3.0140
16	52.50	1.20	1.72	2.07	1.45	2.9589
21	49.71	1.32	1.70	2.24	1.75	2.8780
26	47.08	1.41	1.67	2.37	2.00	2.7983
31	45.48	1.49	1.66	2.47	2.22	2.7485
41	42.88	1.61	1.63	2.63	2.60	2.6642
51	40.94	1.71	1.61	2.75	2.92	2.5991
61	38.46	1.79	1.58	2.83	3.19	2.5122
81	36.00	1.91	1.56	2.97	3.64	2.4221
total		18.26	29.59	30.78	24.50	51.7150

CÁLCULO DE LOS PARAMETROS DE LA FUNCION DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACION

$$b = \frac{n(\sum xy) - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - \sum x^2}$$

$$b = -0.21$$

$$a = \frac{\sum y}{n} - \frac{(b) \sum x}{n}$$

$$a = 1.96$$

$$\text{antilog}(1.96) = 91.2$$

$$r^2 = \frac{(\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n})^2}{(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n})(\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n})}$$

$$r^2 = 0.996 = 99.6\%$$

$$I = at^b$$

$$I = 91.2t^{-0.21}$$

PRUEBA DE INFILTRACION

CAMPO: Chaye Grande

OBSERVADOR: YOEL ESLEITER CORDOVA ELERA

FECHA: 03/07/2015

N° DE PRUEBA: 02

METODO: DEL CILINDRO INFILTROMETRO

TEXTURA: Franco arenoso

MUESTRA N°: 32

TIEMPO (min)			LECTURA	LAMINA INFILTRADA		VEL. DE INFILTRACION (cm/h)	
HORA	PARCIAL	ACUMULADO	(cm)	PARCIAL	ACUMULADA	INSTANTANEA	ACUMULADA
11.00	0	0	20.5	0	0	0	
11.00	1	1	19.4	1.1	1.1	66	66
11.01	1	2	18.3	1.1	2.2	66	66
11.02	1	3	17.8	0.5	2.7	30	54
11.03	1	4	(17.3)/(20.1)	0.5	3.2	30	48
11.04	1	5	19.9	0.2	3.4	12	40.8
11.05	1	6	19.7	0.2	3.6	12	36
11.06	1	7	19.4	0.3	3.9	18	33.4
11.09	3	10	18.9	0.5	4.4	10	26.4
11.12	3	13	18.5/19.9/19.8	0.5	4.9	10	22.6
11.15	3	16	19.5	0.3	5.2	6	19.5
11.20	5	21	19.3	0.2	5.4	2.4	15.43
11.25	5	26	19.1/20.1/20	0.3	5.7	3.6	13.15
11.30	5	31	19.7	0.3	6	3.6	11.61
11.40	10	41	19.5/20.2/19.8	0.6	6.6	3.6	9.66
11.50	10	51	19.6/20.1/19.9	0.4	7	2.4	8.24
12.00	10	61	19.9/20.1/19.5	0.6	7.6	3.6	7.48
12.10	20	81	19.4/20.1/19.5	0.7	8.3	2.1	6.15
12:30							

VELOCIDAD DE INFILTRACION:

tiempo	I	log T =X	log (Icum) = Y	X.Y	X^2	y^2
ACUMULADO(min)	(cm/h)					
1	66	0.00	1.82	0.00	0.00	3.3107
2	66	0.30	1.82	0.55	0.09	3.3107
3	30	0.48	1.48	0.70	0.23	2.1819
4	30	0.60	1.48	0.89	0.36	2.1819
5	12	0.70	1.08	0.75	0.49	1.1646
6	12	0.78	1.08	0.84	0.61	1.1646
7	18	0.85	1.26	1.06	0.71	1.5757
10	10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.0000
13	10	1.11	1.00	1.11	1.24	1.0000
16	6	1.20	0.78	0.94	1.45	0.6055
21	2.4	1.32	0.38	0.50	1.75	0.1446
26	3.6	1.41	0.56	0.79	2.00	0.3095
31	3.6	1.49	0.56	0.83	2.22	0.3095
41	3.6	1.61	0.56	0.90	2.60	0.3095
51	2.4	1.71	0.38	0.65	2.92	0.1446
61	3.6	1.79	0.56	0.99	3.19	0.3095
81	2.1	1.91	0.32	0.61	3.64	0.1038
total		18.26	16.09	13.12	24.50	19.1266

CALCULO DE LOS PARAMETROS DE LA FUNCION DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACION

$$b = \frac{n(\sum xy) - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - \sum x^2}$$

$$b = -0.85$$

$$a = \frac{\sum y}{n} - \frac{(b) \sum x}{n}$$

$$a = 1.86$$

$$\text{antilog}(1.86) = 72.44$$

$$r^2 = \frac{(\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n})^2}{(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n})(\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n})}$$

$$r^2 = 0.914 = 91.4\%$$

$$I = at^b$$

$$I = 72.44t^{-0.85}$$

UNIDADES DE LA ECUACION DE USLE.

Factor	DIMENSIONES SI	SIMBOLO.
A	Tonelada.	t
	Hectarea	ha*año
R	Megajoule * Milimetro.	MJ.mm
	hectarea * hora *año.	ha.h.año
K	Tonelada *Hectarea *hora	t.ha.h
	hectarea *Megajoule *milimetro	ha.MJ.mm.
L	Adimensional	
S	Adimensional	
C	Adimensional	
P	Adimensional	

COMPARACION DE RENDIMIENTOS DE CULTIVOS AÑO 2005-2014.

CULTIVO	Superficie cosechada Ha	SEGÚN POT- FRIAS 2005	PROYECTO MI CHACRA EMPRENDEDORA 2015	SEGÚN POT- FRIAS 2005	PROYECTO MI CHACRA EMPRENDEDORA 2015- produccion de la zona
		RENDTO. Tn/ Ha.	RENDTO. Tn/ Ha.	PRODUCCION TN	PRODUCCION TN
TRANSITORIOS					
Trigo	1	0.8	0.75	0.8	0.75
Arveja Grano seco	1	0.7	0.7	0.7	0.7
Frijol grano seco	1	0.6	0.58	0.6	0.58
TOTAL :				0.700	0.677